

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-157595

(43)Date of publication of application : 31.05.2002

(51)Int.Cl.

G06T 7/00

G06T 1/00

G06T 7/60

(21)Application number : 2000-353402

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 20.11.2000

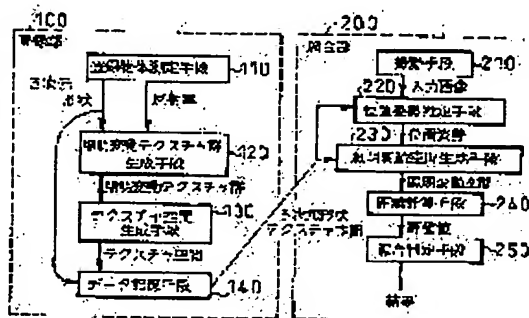
(72)Inventor : ISHIYAMA RUI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR COLLATING OBJECT AND RECORDING MEDIUM RECORDING ITS PROGRAM

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To perform the recognition of an object to be collated, the collation to specify the object and the retrieval of a similar object, etc., at high speed by correcting a position posture and illumination change at high speed.

**SOLUTION:** A register part 100 measures the three-dimensional shape of an object to be collated and a reflectance on the front surface of the object by a registered object measuring means 110. An illumination change texture group generating means 120 and a texture space generating means 130 generate a texture space which includes texture change dependent on an illumination condition and a storage means 140 stores it. A collating part 200 photographs an input picture by a photographing means 210, estimates the position posture of the object in the input picture through the use of the three-dimensional shape and the reflectance by a position posture estimating means 220, generates an illumination change space when the object is at a position and a posture, which are the same as those of the input picture, through the use of the three-dimensional shape and the texture space by a illumination correcting means 230, calculates the evaluation value of a distance between the illumination change space and a comparison picture by a distance calculating means 240 and judges collation based on the evaluation value by a collation judging means 250.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Best Available Copy

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-157595

(P2002-157595A)

(43)公開日 平成14年5月31日(2002.5.31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\*(参考)

G 0 6 T 7/00

3 0 0

G 0 6 T 7/00

3 0 0 F 5 B 0 5 7

1/00

3 4 0

1/00

3 4 0 A 5 L 0 9 6

7/60

1 5 0

7/60

1 5 0 B

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 27 頁)

(21)出願番号

特願2000-353402(P2000-353402)

(22)出願日

平成12年11月20日(2000.11.20)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 石山 晃

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100088890

弁理士 河原 純一

Fターム(参考) 5B057 BA02 CA01 CA08 CA12 CA16

CB01 CB08 CB12 CB16 CE01

DA12

5L096 AA01 AA06 AA09 CA02 FA46

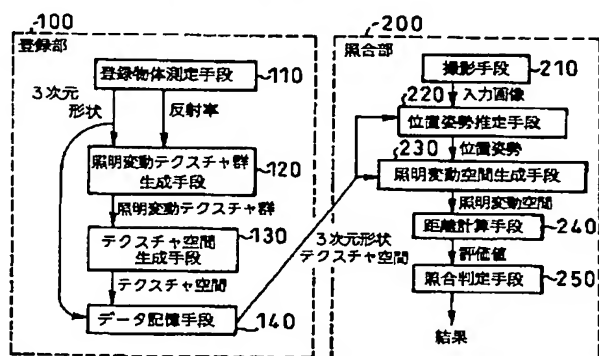
HA09 JA11

(54)【発明の名称】 物体照合方法、物体照合装置、およびそのプログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】位置姿勢や照明の変動の補正を高速に行い、照合対象となる物体であるかの確認、どの物体であるかの照合、似た物体の検索などの高速処理を可能にする。

【解決手段】登録部100は、登録物体測定手段110により照合対象となる物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定し、照明変動テクスチャ群生成手段120によりテクスチャ空間生成手段130によりテクスチャ空間を生成し、記憶手段140に記憶する。照合部200は、撮影手段210により入力画像を撮影し、位置姿勢推定手段220により3次元形状および反射率を用いて入力画像中の物体の位置姿勢を推定し、照明補正手段230により3次元形状およびテクスチャ空間を用いて入力画像と同位置同姿勢に物体があるときの照明変動空間を生成し、距離計算手段240により照明変動空間と比較画像との距離の評価値を計算し、照合判定手段250により評価値に基づき照合判定を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】登録物体の登録データをデータベースに登録する登録過程と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合過程とを含む物体照合方法において、前記登録過程が、登録物体の3次元形状、および様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を記憶する工程であり、前記照合過程が、対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する工程と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記3次元形状および前記テクスチャ空間から生成する工程と、前記照明変動空間と前記入力画像との距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う工程とから構成されることを特徴とする物体照合方法。

【請求項2】登録物体の登録データをデータベースに登録する登録過程と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合過程とを含む物体照合方法において、前記登録過程が、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定工程と、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成工程と、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成工程と、前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶工程とから構成され、前記照合過程が、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影工程と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定工程と、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記3次元形状および前記テクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成工程と、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算工程と、前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定工程とから構成されることを特徴とする物体照合方法。

【請求項3】前記登録物体測定工程が、登録物体の3次元形状を測定する3次元形状測定工程と、実際に様々な照明条件を設定して物体表面の各位置の輝度や色情報を撮影してテクスチャ群を生成するテクスチャ撮影工程とから構成され、前記テクスチャ群生成工程がなく、前記撮影したテクスチャ群を代わりに用いることを特徴とする請求項2記載の物体照合方法。

【請求項4】前記照明変動空間生成工程がない代わりに、前記3次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて入力画像をテクスチャに変換する入力テクスチャ生成工程があり、前記距離計算工程が、前記入力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を計算する工程であることを特徴とする請求項2または請求項3記載の物体照合方法。

【請求項5】前記テクスチャ空間生成工程が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する工程であり、前記記憶工程が、前記3次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する工程であり、前記照明変動空間生成工程が、前記3次元形状、前記基底テクスチャ群、および前記推定された位置姿勢を用いて照明変動空間の基底ベクトル群を求める工程であり、前記距離計算工程が、前記基底ベクトル群と前記入力画像との間の相関を求め、該相関を元に基底ベクトル群から前記入力画像に最も近い比較画像を生成し、該比較画像と前記入力画像との類似度を距離として出力する工程であることを特徴とする請求項2または請求項3記載の物体照合方法。

【請求項6】前記テクスチャ空間生成工程が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより、照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する工程であり、前記記憶工程が、前記3次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する工程であり、前記距離計算工程が、前記基底テクスチャ群と前記入力テクスチャとの間の相関を求め、該相関を元に基底テクスチャ群から前記入力テクスチャに最も近い比較テクスチャを生成し、該比較テクスチャと前記入力テクスチャとの類似度を距離として出力する工程であることを特徴とする請求項4記載の物体照合方法。

【請求項7】前記登録過程において複数の登録物体の3次元形状を測定する代わりに、1つないし少数の3次元形状を測定するだけで、該1つないし少数の3次元形状の平均となる平均形状を出力し、照合対象となる全ての物体の形状は計測せず、反射率の測定が照合対象となる全ての物体について反射率の計測または1つないし複数の照明条件の下での画像情報の撮影を行うものであり、複数の登録物体の3次元形状として前記平均形状だけを用いることを特徴とする請求項2ないし請求項6記載の物体照合方法。

【請求項8】前記3次元形状の測定を行わず、別途図面等から3次元形状を入力しておくことを特徴とする請求項2ないし請求項6記載の物体照合方法。

【請求項9】前記反射率の測定を行わず、別途図面等か

ら反射率や色情報を入力しておくことを特徴とする請求項 2 ないし請求項 8 記載の物体照合方法。

【請求項 10】前記登録データに登録物体の特徴的な部位の位置情報を付与して登録すること特徴とする請求項 2 ないし請求項 9 記載の物体照合方法。

【請求項 11】前記照合対象となる物体を、自動車とすることを特徴とする請求項 2 ないし請求項 10 記載の物体照合方法。

【請求項 12】前記照合対象となる物体を、人間の顔とすることを特徴とする請求項 2 ないし請求項 10 記載の物体照合方法。

【請求項 13】登録物体の 3 次元形状、および様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を記憶する登録部と、対象物体の 2 次元画像を入力画像として撮影し、前記入力画像における対象物体の位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記 3 次元形状および前記テクスチャ空間から生成し、該照明変動空間と前記入力画像との距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合部とから構成されることを特徴とする物体照合装置。

【請求項 14】登録物体の登録データを登録する登録部と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合部を備える物体照合装置において、前記登録部が、登録物体の 3 次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段と、前記 3 次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段と、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段と、前記 3 次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段とを備え、前記照合部が、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の 2 次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段と、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記 3 次元形状および前記テクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段と、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段と、前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段とを備えることを特徴とする物体照合装置。

【請求項 15】前記登録物体測定手段が、登録物体の 3

次元形状を測定する 3 次元形状測定手段と、実際に様々な照明条件を設定して物体表面の各位置の輝度や色情報を撮影してテクスチャ群を生成するテクスチャ撮影手段とから構成され、前記テクスチャ群生成手段がなく、前記撮影したテクスチャ群を代わりに用いることを特徴とする請求項 14 記載の物体照合装置。

【請求項 16】前記照明変動空間生成手段がない代わりに、前記 3 次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて前記入力画像を入力テクスチャに変換する入力テクスチャ生成手段があり、前記距離計算手段が、前記入力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を計算する手段であることを特徴とする請求項 14 または請求項 15 記載の物体照合装置。

【請求項 17】前記テクスチャ空間生成手段が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する手段であり、前記記憶手段が、前記 3 次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する手段であり、前記照明変動空間生成手段が、前記 3 次元形状、前記基底テクスチャ群、および前記推定された位置姿勢を用いて照明変動空間の基底ベクトル群を求める手段であり、前記距離計算手段が、前記基底ベクトル群と前記入力画像との間の相関を求め、該相関を元に基底ベクトル群から前記入力画像に最も近い比較画像を生成し、該比較画像と前記入力画像との類似度を距離として出力する手段であることを特徴とする請求項 14 または請求項 15 記載の物体照合装置。

【請求項 18】前記テクスチャ空間生成手段が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する手段であり、前記記憶手段が、前記 3 次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する手段であり、前記距離計算手段が、前記基底テクスチャ群と前記入力テクスチャとの間の相関を求め、該相関を元に前記基底テクスチャ群から前記入力テクスチャに最も近い比較テクスチャを生成し、該比較テクスチャと前記入力テクスチャとの類似度を距離として出力する手段であることを特徴とする請求項 16 記載の物体照合装置。

【請求項 19】前記登録部において複数の登録物体の 3 次元形状を測定する代わりに、1 つないし少数の登録物体の 3 次元形状を測定するだけで、該 1 つないし少数の 3 次元形状の平均形状を出力し、登録物体となる全ての物体の形状は計測せず、反射率の測定が登録物体となる全ての物体について反射率の計測または 1 つないし複数の照明条件の下での画像情報の撮影を行うものであり、以降の処理においては 3 次元形状として前記平均形状だ

けを用いることを特徴とする請求項14ないし請求項18記載の物体照合装置。

【請求項20】前記登録物体測定手段がなく、3次元形状の測定を行わない代わりに、登録物体入力手段を用いて別途図面等から3次元形状を入力しておくことを特徴とする請求項14ないし請求項19記載の物体照合装置。

【請求項21】前記登録物体測定手段がなく、反射率の測定を行わない代わりに、登録物体入力手段を用いて別途図面等から反射率や色情報を入力しておくことを特徴とする請求項14ないし請求項20記載の物体照合装置。

【請求項22】前記登録部に、登録物体の特徴的な部位の位置情報を付与して登録する特徴点位置抽出手段を備えること特徴とする請求項4ないし請求項21記載の物体照合装置。

【請求項23】前記照合対象となる物体を、自動車とすることを特徴とする請求項14ないし請求項22記載の物体照合装置。

【請求項24】前記照合対象となる物体を、人間の顔とすることを特徴とする請求項14ないし請求項22記載の物体照合装置。

【請求項25】コンピュータを、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項26】コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を登録物体の3次元形状およびテクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項27】コンピュータを、3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状を測定する3次元形状測定手段、照明条件を実際に設定して登録物体の画像群を撮影し前記3次元形状を用いてテクスチャ座標系を生成し

該テクスチャ座標系に前記画像群を変換することによりテクスチャ群として出力するテクスチャ撮影手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項28】コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段、前記位置姿勢推定手段の結果を利用して前記入力画像の各画素をテクスチャ座標に変換し変形することで入力テクスチャを生成する入力テクスチャ生成手段、登録物体のテクスチャ空間と前記入力テクスチャとの距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項29】コンピュータを、3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状を測定する登録物体測定手段、複数の物体の3次元形状を重心を一致させるように平行移動し、ある軸に垂直な断面を適当な間隔で設定し、それぞれの断面上で平均形状を計算する平均形状生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記平均形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項30】コンピュータを、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段、特徴点の位置を検出し、その3次元座標を特徴点位置として出力する特徴点位置抽出手段、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状、前記テクスチャ空間、および前記特徴点位置を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項31】コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像を撮影したときの撮影条件である対象物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタ等を登録物体の3次元形状、テクスチャ空間、および特徴点位置を用いて推定する位置姿勢推定手段、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変

動空間を登録物体の3次元形状およびテクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項32】コンピュータを、図面等から3次元形状および反射率を入力する登録物体入力手段、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像による物体の照合を行う物体照合方法、物体照合装置、およびそのプログラムを記録した記録媒体に関し、特に照合対象となる物体の3次元形状および物体表面の反射率や色情報などをあらかじめ登録しておくことにより、画像上での物体の位置や姿勢、照明条件などの撮影条件の変動に対して頑強な物体照合方法、物体照合装置、およびそのプログラムを記録した記録媒体に関する。以下、事前に登録される物体を登録物体と呼び、登録物体と照合の対象とされる物体を対象物体と呼ぶ。

【0002】

【従来の技術】物体照合技術とは、図6に示すように、3次元空間上に適当に配置された対象物体が何であるのかを、カメラなどの画像撮像デバイスにより取得した入力画像（群）を利用して登録物体と照合する技術である。物体照合プロセスは、登録物体を事前に登録しておく登録過程と、対象物体の入力画像（群）に何が撮影されているかを登録物体と比較照合してゆく照合過程との2つから構成されている。それぞれの過程において、撮像された画像は、2次元的な広がりを持つ2次元画像のまま用いたり、また文献1（「三次元画像計測」、井口・佐藤、昭光堂）に記載されている技術などにより、3次元形状などに変換して利用する。従来の物体照合技術を、以下で文献を参照しながら説明する。

【0003】・従来技術1

2次元画像を登録しておき、入力として2次元画像を用いる物体照合技術の一例として、文献2（特許第2872776号「顔画像照合装置」）で示される技術がある。この技術は、照合対象となる物体として人間の顔を想定しており、図22のような構成をとっている。登録

時は、カメラ11により撮影された2次元画像を記憶手段12に記憶しておく。照合時は、カメラ13で2次元の顔画像を入力画像として撮影し、正規化手段14によって、前記入力画像から目や鼻の位置などの姿勢や大きさの基準となる顔特徴点を画像処理技術により抽出し、該特徴点の座標位置を基準として画像上において2次元的な位置および大きさの正規化を行った正規化画像を出力する。最後に、画像比較手段15によって、記憶手段12から読み出される登録画像と前記正規化画像とをパターン認識技術により比較し、照合結果を出力する。

【0004】・従来技術2

また、3次元形状を用いた従来の物体照合技術の例として、文献3（特開平9-259271号公報「人物照合装置」）で示される技術がある。この技術では、図23のような構成をとる。登録時には、3次元形状カラー情報計測手段21により登録物体の3次元形状およびカラー情報を顔データとして測定し、記憶手段22に記憶しておく。照合時にも、3次元形状カラー情報計測手段23により対象物体の3次元形状およびカラー情報を入力データとして測定し、平行移動・回転手段24により前記入力データを重心が前記顔データと一致するように平行移動して微少回転を加えた回転顔データ群を生成し、最小誤差計算手段25によって誤差の最小値を求めることで3次元的な位置姿勢の補正を行い、該最小誤差に基づいて照合を行う。

【0005】・従来技術3

文献4（特開平6-168317号公報「個人識別装置」）には、登録時および照合時ともに2次元画像を撮影する照合技術が開示されている。この技術は、図24のような構成をとる。登録時には、カメラ31により登録物体の2次元画像を撮影し、特徴抽出手段32において輝度変動の大きな画素位置を検出して特徴点位置を出力し、記憶手段33に記憶する。照合時には、カメラ34により対象物体の2次元画像を入力画像として撮影し、特徴抽出手段35において輝度変動の大きな画素位置を検出して特徴点位置を出力し、照合手段37において前記登録されている特徴点位置と前記入力画像の特徴点位置とを比較することで照合を行っている。このとき、対象物体の位置や姿勢の変動を吸収するために、位置姿勢正規化手段36において標準的な物体の3次元形状モデルをあらかじめ用意しておき、該標準3次元形状モデルを利用して位置姿勢を正規化する。

【0006】・従来技術4

位置や姿勢の変動だけでなく、照明条件に応じた変動をも補正するために、登録過程および照合過程双方で通常の2次元画像だけを用いる技術として、文献5（「Visual Learning and Recognition of 3-D Objects from Appearance」, Hiroshi Murase and Shree K. Nayer, In t. J. Computer Vision, vol.14, pp.5-24,1995）がある。この技術では、図25のような構成をとる。登録時



には、撮影手段41により登録物体について対象物体の入力画像において考えられるあらゆる姿勢や照明条件を網羅した2次元画像群を撮影し、多様体計算手段42により前記2次元画像群の変化を十分表せるような基底ベクトル群を主成分分析により求めて該基底ベクトル群との相関を特徴とする特徴空間を生成し、前記2次元画像群の特徴空間における軌跡を多様体として求め、記憶手段43に記憶しておく。照合時には、カメラ44により対象物体の2次元画像を入力画像として撮影し、距離計算手段45において前記入力画像と前記多様体との特徴空間における距離を計算し、該距離を尺度として照合を行う。これにより、様々な位置姿勢や照明条件の下で撮影された入力画像の照合を可能にしている。

#### 【0007】・従来技術5

物体の位置姿勢が固定である場合の照明条件による2次元画像の変化については、文献6(「What Is the Set of Images of an Object Under All Possible Illumination Conditions?」, Peter N. Belhumeur and David J. Kriegman, Int.J. Computer Vision, vol.28, pp.245-260,1998)において詳しく分析されている。物体の位置姿勢を固定すれば、任意の照明条件の下での画像は、1つの点光源の下での画像の和に分解して表すことができる。したがって、任意の数の光源の下での画像は、それぞれ1つずつの光源の強さを係数として、その1つの光源の下での画像の線形和で表すことができる。

【0008】前記の分析に基づき、前記文献6では、Illumination Subspace Method(以下、方法1で参照する)と呼ばれる、図26のような構成をとる方法を提案している。撮影手段51において、できるだけ影になる画素がないような異なる照明条件を3つ以上設定し、登録物体の2次元画像群を撮影する。法線計算手段52において、該2次元画像群から主成分分析により画像の各画素に対応する物体表面の反射率と法線ベクトルとの積に相当するベクトル群を求める。続いて、画像生成手段53において、該ベクトル群の任意の2個のベクトルの外積で表される方向に照明がある場合の画像であるextreme rayと呼ばれる画像群を生成し、記憶手段54に記憶する。照合時には、カメラ55によって対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する。物体表面の反射特性が完全散乱であり、かつ形状が凸である場合には、任意の照明条件の下での画像は前記extreme ray群の係数が正である線形和として表せるので、該係数群を負にならないという条件の下での最小二乗法を用いて計算することができる。照明補正手段56において、前記最小二乗計算を行い、求めた係数群を用いたextreme ray群の線形和により入力画像と同じ照明条件の下での対象物体の比較画像を生成する。画像比較手段57において、該比較画像と前記入力画像との類似度を計算することで照合処理を行う。

#### 【0009】・従来技術6

文献7(「Illumination Cones for Recognition Under Variable Lighting: Faces」, A.S. Georgiades, Proc. IEEE Int. Conf. CVPR, pp.52-58,1998)では、方法1においてextreme rayを計算する際に、光線追跡などのコンピュータグラフィックスの技術を用いて、物体の3次元形状からどの画素が影になるかを計算し、影を付ける処理を行う方法(以下、方法2として参照)を示している。これにより、形状が凸でない形状の物体にも、方法1が適用できるとしている。

#### 【0010】・従来技術7

また、前記文献7では、Sampling Method(以下、方法3として参照)として、図27のような構成をとる方法も提案している。前記方法1のように全てのextreme rayを計算することは手間がかかるので、登録時に、撮影手段61において、例えば、図5の $\theta$ 、 $\phi$ の角度がなるべく等間隔に全体を覆うように適当な数の照明方向を設定して2次元画像群を撮影し、該2次元画像群をextreme rayとして代用する。以降は、方法1と同様に、非負最小二乗法を適用して照明補正を行い、物体認識を行う。

#### 【0011】・従来技術8

文献8(特願2000-105399「画像照合装置、画像照合方法、およびそのプログラムを記録した記録媒体」)の技術では、登録物体の3次元形状を登録しておき、対象物体の入力画像の位置姿勢が変化しても、該位置姿勢に合わせた時の照明変動テクスチャ群をコンピュータグラフィックスにより生成し、さらに、該画像群を包含する画像空間を求めて照明補正処理を行うことにより、位置姿勢および照明条件がともに変化する場合には高精度な照合を可能にしている。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、照合対象となる物体は、特に固定や調節などをしない限り、カメラなどの画像撮像デバイスの前で3次元的な平行移動、回転移動などを伴うことが一般的である。また、屋外などでは刻々と照明条件も変動していくことから明らかなように、照合対象として入力される2次元画像上では、見かけ上、非常に大きな変動がある。従来技術は、これらの位置姿勢や照明条件の変動を十分補正することができていないため、応用範囲が非常に限られてしまうという問題点があった。以下、具体的に各文献記載の技術における問題点を詳述する。

【0013】文献2に記載されているような単なる2次元画像同士での照合技術では、照合対象となる物体の3次元的な回転変動や画像撮影時の照明条件変動による2次元画像上での見かけ上の変動に対応することができず、応用範囲が極めて限定される。

【0014】文献3の照合技術では、登録時だけでなく照合時にも3次元形状を必要とするために、照合装置には文献1に示されているような3次元形状計測装置が必

須となり、高価になってしまう問題があった。これは、登録時と異なる場所や、複数の場所で入力画像を撮影し照合を行いたい場合などに特に問題である。また、形状の計測をするためには計測が終了するまで照合対象となる物体が静止していなければならなかったり、暗室や薄暗い環境でなければ精度の良い形状データが得られないという問題があり、やはり応用範囲が限られてしまう。

【0015】文献4に示されているような輝度変動の大きな画素位置を検出する方法は、3次元的な曲率が非常に大きな積み木や、また反射率の変動が非常に大きい白板上の黒いマーカなどには有効であるが、該文献4中で言及されているような人間の顔には向かないことが知られていることから、安定な座標位置検出は一般に困難である。また、文献4では、照合対象となる物体群の標準的な3次元形状により姿勢を補正するとあるが、該物体群の各物体間において形状の類似度が高くない場合には適用できないという問題があった。

【0016】文献5の技術では、対象物体の入力画像の照明条件として複数の光源や拡張光源などの様々な照明条件を考慮すると、これらを網羅する登録物体のサンプル画像は膨大な量が必要になってしまう。また、特徴空間における多様体の形状について何も仮定されていないため、入力画像との距離を求める際に撮影条件のパラメタに対する探索を要する。したがって、多くの計算量が必要となるという問題があった。

【0017】方法1の技術では、形状の複雑さに応じて extreme ray を計算する手続きに非常に多くの計算量を要する。文献6によれば、物体表面の法線ベクトルのうち線形独立なものが  $m$  個ある場合、extreme ray の数は最大で  $m(m-1)$  個である。したがって、物体形状が積み木のように単純なものでない限り、膨大な数の画像を計算しなければならなくなるため、複雑な形状の一般的な物体に対して全ての extreme ray を計算することは計算量の点で問題がある。また、物体形状が凸でなく、他の部分が光源を遮蔽して生じる影がある場合にはそのまま適用することはできない。

【0018】方法1、方法2の技術はともに、物体の位置や姿勢が変わった場合には、該位置姿勢に合わせた物体の画像を撮影し、extreme ray をすべて計算し直す必要がある。特に、方法2の技術では、extreme ray の計算時に、物体の画像に影を付ける計算処理を行うが、この処理は光線追跡など非常に多くの計算量を必要とするため、結果として照合処理に時間がかかるという問題が生じる。

【0019】方法3の技術では、照合対象となる物体に多数の方向から照明を当てた画像を撮影する必要がある、登録時に特別な照明装置が必要になってしまう。

【0020】また、照合対象となる物体の位置や姿勢が変わった場合には、該位置姿勢に合わせた物体の多数の照明条件の下での画像を撮影し直さなければならない。

したがって、入力画像において想定されるあらゆる位置姿勢における画像を撮影しておかなければならないため、登録処理に手間がかかることや、あらかじめ登録されていない位置姿勢で撮影された画像は照合することができないなどの問題がある。

【0021】文献8の技術では、入力画像における対象物体の位置姿勢が変化しても、登録物体の3次元形状によって位置姿勢を合わせた画像を生成することができるため、必要なすべての位置姿勢での画像群を登録時に撮影しておく必要はない。しかし、入力画像に位置姿勢を合わせた多数の照明条件の下での画像を生成する工程には、影を付ける処理など非常に多くの計算量を要するため、照合処理に時間がかかるという問題があった。

【0022】本発明は、上記問題点を鑑みなされたものであり、照合に用いる入力データとして3次元形状を必要とせず通常のカメラで撮影した2次元画像により照合することが可能な物体照合方法、物体照合装置、およびそのプログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

【0023】また、本発明は、入力画像における対象物体の3次元的な位置姿勢の変化を補正可能であり、登録時に登録物体の必要なデータが簡便に測定可能であり、様々な照明条件の下で撮影された入力画像に対し照明条件の補正を高速な処理によって実現可能な物体照合方法、物体照合装置、およびそのプログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するために、請求項1記載の発明では、登録物体の登録データをデータベースに登録する登録過程と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合過程とを含む物体照合方法において、前記登録過程が、登録物体の3次元形状、および様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を記憶する工程であり、前記照合過程が、対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する工程と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記3次元形状および前記テクスチャ空間から生成する工程と、前記照明変動空間と前記入力画像との距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う工程とから構成されることを特徴とする。

【0025】請求項2記載の発明では、登録物体の登録データをデータベースに登録する登録過程と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合過程とを含む物体照合方法において、前記登録過程が、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定す



る登録物体測定工程と、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成工程と、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成工程と、前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶工程とから構成され、前記照合過程が、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影工程と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定工程と、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記3次元形状および前記テクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成工程と、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算工程と、前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定工程とから構成されることを特徴とする。

【0026】請求項3記載の発明は、請求項2記載の物体照合方法において、前記登録物体測定工程が、登録物体の3次元形状を測定する3次元形状測定工程と、実際に様々な照明条件を設定して物体表面の各位置の輝度や色情報を撮影してテクスチャ群を生成するテクスチャ撮影工程とから構成され、前記テクスチャ群生成工程がなく、前記撮影したテクスチャ群を代わりに用いることを特徴とする。

【0027】請求項4記載の発明は、請求項2または請求項3記載の物体照合方法において、前記照明変動空間生成工程がない代わりに、前記3次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて入力画像をテクスチャに変換する入力テクスチャ生成工程があり、前記距離計算工程が、前記入力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を計算する工程であることを特徴とする。

【0028】請求項5記載の発明は、請求項2または請求項3記載の物体照合方法において、前記テクスチャ空間生成工程が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する工程であり、前記記憶工程が、前記3次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する工程であり、前記照明変動空間生成工程が、前記3次元形状、前記基底テクスチャ群、および前記推定された位置姿勢を用いて照明変動空間の基底ベクトル群を求める工程であり、前記距離計算工程が、前記基底ベクトル群と前記入力画像との間の相関を求め、該相関を元に基底ベクトル群から前記入力画像に最も近い比較画像を生成し、該比較画像と前記入力画像との類似度を距離として

出力する工程であることを特徴とする。

【0029】請求項6記載の発明は、請求項4記載の物体照合方法において、前記テクスチャ空間生成工程が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより、照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する工程であり、前記記憶工程が、前記3次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する工程であり、前記距離計算工程が、前記基底テクスチャ群と前記入力テクスチャとの間の相関を求め、該相関を元に基底テクスチャ群から前記入力テクスチャに最も近い比較テクスチャを生成し、該比較テクスチャと前記入力テクスチャとの類似度を距離として出力する工程であることを特徴とする。

【0030】請求項7記載の発明は、請求項2ないし請求項6記載の発明において、前記登録過程において複数の登録物体の3次元形状を測定する代わりに、1つないし少数の3次元形状を測定するだけで、該1つないし少数の3次元形状の平均となる平均形状を出力し、照合対象となる全ての物体の形状は計測せず、反射率の測定が照合対象となる全ての物体について反射率の計測または1つないし複数の照明条件の下での画像情報の撮影を行うものであり、複数の登録物体の3次元形状として前記平均形状だけを用いることを特徴とする。

【0031】請求項8記載の発明は、請求項2ないし請求項6記載の発明において、前記3次元形状の測定を行わず、別途図面等から3次元形状を入力しておくことを特徴とする。

【0032】請求項9記載の発明は、請求項2ないし請求項8記載の発明において、前記反射率の測定を行わず、別途図面等から反射率や色情報を入力しておくことを特徴とする。

【0033】請求項10記載の発明は、請求項2ないし請求項9記載の発明において、前記登録データに登録物体の特徴的な部位の位置情報を付与して登録すること特徴とする。

【0034】請求項11記載の発明は、請求項2ないし請求項10記載の発明において、前記照合対象となる物体を、自動車とすることを特徴とする。

【0035】請求項12記載の発明は、請求項2ないし請求項10記載の発明において、前記照合対象となる物体を、人間の顔とすることを特徴とする。

【0036】請求項13記載の発明は、登録物体の3次元形状、および様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を記憶する登録部と、対象物体の2次元画像を入力画像として撮影し、前記入力画像における対象物体の位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前

記 3 次元形状および前記テクスチャ空間から生成し、該照明変動空間と前記入力画像との距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合部とから構成されることを特徴とする。

【0037】請求項 14 記載の発明は、登録物体の登録データを登録する登録部と、対象物体の入力画像に対して前記登録データとの照合を行う照合部を備える物体照合装置において、前記登録部が、登録物体の 3 次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段と、前記 3 次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段と、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段と、前記 3 次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段とを備え、前記照合部が、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の 2 次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段と、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段と、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記 3 次元形状および前記テクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段と、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段と、前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段とを備えることを特徴とする。

【0038】請求項 15 記載の発明は、請求項 14 記載の物体照合装置において、前記登録物体測定手段が、登録物体の 3 次元形状を測定する 3 次元形状測定手段と、実際に様々な照明条件を設定して物体表面の各位置の輝度や色情報を撮影してテクスチャ群を生成するテクスチャ撮影手段とから構成され、前記テクスチャ群生成手段がなく、前記撮影したテクスチャ群を代わりに用いることを特徴とする。

【0039】請求項 16 記載の発明は、請求項 14 または請求項 15 記載の物体照合装置において、前記照明変動空間生成手段がない代わりに、前記 3 次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて前記入力画像を入力テクスチャに変換する入力テクスチャ生成手段があり、前記距離計算手段が、前記入力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を計算する手段であることを特徴とする。

【0040】請求項 17 記載の発明は、請求項 14 または請求項 15 記載の物体照合装置において、前記テクスチャ空間生成手段が、前記テクスチャ群に主成分分析な

どの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する手段であり、前記記憶手段が、前記 3 次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する手段であり、前記照明変動空間生成手段が、前記 3 次元形状、前記基底テクスチャ群、および前記推定された位置姿勢を用いて照明変動空間の基底ベクトル群を求める手段であり、前記距離計算手段が、前記基底ベクトル群と前記入力画像との間の相関を求め、該相関を元に基底ベクトル群から前記入力画像に最も近い比較画像を生成し、該比較画像と前記入力画像との類似度を距離として出力する手段であることを特徴とする。

【0041】請求項 18 記載の発明は、請求項 16 記載の物体照合装置において、前記テクスチャ空間生成手段が、前記テクスチャ群に主成分分析などの統計的解析を施すことにより照明条件に応じてテクスチャ上に現れている変動要因の大部分を覆うような空間の基底ベクトルである基底テクスチャ群を求めることでテクスチャ空間を生成する手段であり、前記記憶手段が、前記 3 次元形状および前記基底テクスチャ群を記憶する手段であり、前記距離計算手段が、前記基底テクスチャ群と前記入力テクスチャとの間の相関を求め、該相関を元に前記基底テクスチャ群から前記入力テクスチャに最も近い比較テクスチャを生成し、該比較テクスチャと前記入力テクスチャとの類似度を距離として出力する手段であることを特徴とする。

【0042】請求項 19 記載の発明は、請求項 14 ないし請求項 18 記載の物体照合装置において、前記登録部において複数の登録物体の 3 次元形状を測定する代わりに、1 つないし少数の登録物体の 3 次元形状を測定するだけで、該 1 つないし少数の 3 次元形状の平均形状を出力し、登録物体となる全ての物体の形状は計測せず、反射率の測定が登録物体となる全ての物体について反射率の計測または 1 つないし複数の照明条件の下での画像情報の撮影を行うものであり、以降の処理においては 3 次元形状として前記平均形状だけを用いることを特徴とする。

【0043】請求項 20 記載の発明は、請求項 14 ないし請求項 19 記載の物体照合装置において、前記登録物体測定手段がなく、3 次元形状の測定を行わない代わりに、登録物体入力手段を用いて別途図面等から 3 次元形状を入力しておくことを特徴とする。

【0044】請求項 21 記載の発明は、請求項 14 ないし請求項 20 記載の物体照合装置において、前記登録物体測定手段がなく、反射率の測定を行わない代わりに、登録物体入力手段を用いて別途図面等から反射率や色情報を入力しておくことを特徴とする。

【0045】請求項 22 記載の発明は、請求項 4 ないし請求項 21 記載の物体照合装置において、前記登録部

に、登録物体の特徴的な部位の位置情報を付与して登録する特徴点位置抽出手段を備えること特徴とする。

【0046】請求項23記載の発明は、請求項14ないし請求項22記載の物体照合装置において、前記照合対象となる物体を、自動車とすることを特徴とする。

【0047】請求項24記載の発明は、請求項14ないし請求項22記載の物体照合装置において、前記照合対象となる物体を、人間の顔とすることを特徴とする。

【0048】請求項25記載の発明は、コンピュータを、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0049】請求項26記載の発明は、コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を登録物体の3次元形状およびテクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0050】請求項27記載の発明は、コンピュータを、3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状を測定する3次元形状測定手段、照明条件を実際に設定して登録物体の画像群を撮影し前記3次元形状を用いてテクスチャ座標系を生成し該テクスチャ座標系に前記画像群を変換することによりテクスチャ群として出力するテクスチャ撮影手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0051】請求項28記載の発明は、コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像における対象物体の位置姿勢を推定する位置姿勢推定手段、前記位置姿勢推定手段の結果を利用して前記入力画像の各画素をテクスチャ座標に変換し変形

することで入力テクスチャを生成する入力テクスチャ生成手段、登録物体のテクスチャ空間と前記入力テクスチャとの距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0052】請求項29記載の発明は、コンピュータを、3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状を測定する登録物体測定手段、複数の物体の3次元形状を重心を一致させるように平行移動し、ある軸に垂直な断面を適当な間隔で設定し、それぞれの断面上で平均形状を計算する平均形状生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記平均形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0053】請求項30記載の発明は、コンピュータを、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する登録物体測定手段、特徴点の位置を検出し、その3次元座標を特徴点位置として出力する特徴点位置抽出手段、前記3次元形状および前記反射率を用いて様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状、前記テクスチャ空間、および前記特徴点位置を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0054】請求項31記載の発明は、コンピュータを、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する入力画像撮影手段、前記入力画像を撮影したときの撮影条件である対象物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタ等を登録物体の3次元形状、テクスチャ空間、および特徴点位置を用いて推定する位置姿勢推定手段、前記推定された位置姿勢と同じ位置姿勢で様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を登録物体の3次元形状およびテクスチャ空間を用いて生成する照明変動空間生成手段、前記入力画像と前記照明変動空間との距離を計算する距離計算手段、ならびに前記距離に基づいて対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う照合判定手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0055】請求項32記載の発明は、コンピュータを、図面等から3次元形状および反射率を入力する登録物体入力手段、前記3次元形状および前記反射率を用い

て様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャをコンピュータグラフィックスの技術などを用いて生成するテクスチャ群生成手段、前記テクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間を生成するテクスチャ空間生成手段、ならびに前記3次元形状および前記テクスチャ空間を記憶しておく記憶手段として機能させるためのプログラムを記録した記録媒体である。

【0056】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付図面を参照しながら詳細に説明する。

【0057】(1)第1の実施の形態

本発明の第1の実施の形態に係る物体照合方法は、図1に示す第1の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、登録物体のデータをデータベースに登録する登録過程が、物体の3次元形状と、様々な照明条件の下での物体表面の各位置の輝度や色情報を表すテクスチャ群で張られる画像空間であるテクスチャ空間とを記憶する工程であり、入力される画像に対して登録データとの照合を行う照合過程が、2次元画像を入力画像として撮影する工程と、照合対象となる物体が前記入力画像における対象物体の位置姿勢で、様々な照明条件の下での画像群によって張られる画像空間である照明変動空間を前記3次元形状および前記テクスチャ空間から生成する工程と、前記照明変動空間と前記入力画像との距離に基づいて、照合対象となる物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う工程とから構成されるものである。

【0058】第1の実施の形態に係る発明の物体照合方法では、照合対象となる物体表面の各位置の輝度または色を表すテクスチャは照明条件によって変化するが、これら照明変動によって生成される様々なテクスチャ群の張る空間（テクスチャ空間）と、登録物体の3次元形状とを登録しておくことにより、前記テクスチャ空間を、必要とされる位置姿勢に対象物体があるときに照明条件の変動によって生成される照明変動空間へと変換することが可能であり、これにより前記位置姿勢にある対象物体の様々な照明条件の下での画像を生成でき、照明補正処理を行うことで高精度な照合を行えることを利用している。

【0059】さらに、第1の実施の形態に係る発明の物体照合方法によれば、対象物体の目的とする位置姿勢での照明変動空間を、登録物体のテクスチャ空間の簡単な座標変換のみによって生成することができるため、照合過程における計算量を大幅に軽減することができ、高速な物体照合処理を行うことが可能となる。

【0060】まず、登録過程について説明する。

【0061】登録物体測定工程において、登録物体の3次元形状および物体表面の反射率を測定する。これに

は、様々な測定装置や手法などを用いることができる。その一例として、例えば文献9（特願平11-123687号）記載の3次元形状測定装置を用いることができる。この他にも、文献1で述べられているような様々な装置や手段を利用可能である。

【0062】次に、テクスチャ群生成工程において、物体表面上にテクスチャ空間の座標系（テクスチャ座標系）を設定し、該テクスチャ座標系を用いて物体表面の各点の色または輝度情報を画像として表し、該画像をテクスチャとする。前記テクスチャ座標系の設定方法には様々な手法が利用可能であるが、その一例として、図3に示すように、物体の重心を中心として物体を覆う球を考え、物体表面上の各点Pを重心を中心として前記球表面上へ投影し、投影された点Qの経度、緯度（s, t）をテクスチャ座標とする手法が利用できる。この他にも様々な装置や手段を利用可能である。

【0063】コンピュータグラフィックスの技法などを用いることにより、物体表面上の各位置の陰影や影による輝度や色の変化を計算し、様々な照明条件の下でのテクスチャ群を生成する。テクスチャの各画素の陰影の変化による輝度や色の変化は、該画素に対応する物体表面の反射率、3次元形状から計算できる法線方向、および照明の方向により計算することができる。影の生成に関しては、前記3次元形状を用いて光線追跡などの処理を行うことで、前記画素に設定した照明条件の下で光があたるかどうかを判定することができる。

【0064】様々な照明条件を設定し前記テクスチャ空間生成処理を行うことでテクスチャ群を生成できる。

【0065】次に、テクスチャ空間生成工程において、前記テクスチャ群が張る空間としてテクスチャ空間を生成する。

【0066】物体表面の反射率特性として完全散乱面を仮定し、物体形状が凸であり他の部分による光源の遮蔽によって生じる影がなく、光源が無限遠にあるとすれば、テクスチャの各画素（s, t）の輝度値I（s, t）は、画素に対応している物体表面の反射率B（s, t）、法線方向

$$\vec{N}(s, t)$$

、各照明の強度 $l_i$ 、および方向

$$\vec{L}_i$$

により、数1でモデル化できる。

【0067】

【数1】

$$I(s, t) = B(s, t) \max \left( \sum_i (l_i \vec{L}_i \cdot \vec{N}(s, t)), 0 \right)$$

【0068】ここで、max（）の効果を無視すれば、照明が複数ある場合などを含め、任意の照明条件は、数2のように1つの照明ベクトル

$$\vec{L}$$

で表すことができる。

【0069】

【数2】

$$I(s, t) = B(s, t) \bar{N}(s, t) \cdot \bar{L} \quad (\bar{L} = \sum_i l_i \bar{L}_i)$$

【0070】したがって、照明変動により生成される物体のテクスチャの自由度は、照明ベクトル  $\bar{L}$

の次元、すなわち高々3次元になるが、実際には、max ( ) の効果や、物体の他の部分により光源が遮蔽され影ができること、反射特性が完全散乱面でないことなどによる効果があるので、これよりも高次元となる。しかし、大部分が3次元の部分空間で表せることから、実際のテクスチャの変動も、低次元の部分空間として十分近似できる。以下、この低次元の部分空間を、物体のテクスチャ空間と呼ぶ。

【0071】テクスチャ空間の基底ベクトルを得るために、主成分分析を用いる。様々な照明条件の下での物体のテクスチャを多数用意し、照明条件の変動によって変化するテクスチャ群全体の集合を近似する。各テクスチャは、単一の無限遠にある点光源の下でのテクスチャとし、光源の方向を入力画像の撮影時の照明条件として考えられる全ての方向を包含するように適当な間隔で設定した多数のテクスチャを用意する。複数の照明の下でのテクスチャは単一の照明のテクスチャの和でかけるので、単一照明下のテクスチャのみで十分である。テクスチャ群の生成には登録されている3次元形状および表面の反射率を用いるが、その生成手段の一例としてコンピュータグラフィックスの基本機能を利用する方法がある。コンピュータグラフィックスの機能については、文献10 (「OpenGLプログラミングガイド」, Mason Woo, Jackie Neider, Tom Davis, アジソン・ウェスレイ・パブリシャーズ・ジャパン) に詳しく述べられている。コンピュータに標準的に備わっている機能としては、物体表面の反射特性を完全散乱モデルとし、陰影だけを生

成するものが多いが、本発明においては、陰影だけでなく光線追跡の技術を用いて影を再現するなど、できるだけ現実に近い画像を生成できるようにすることができる。

【0072】以上述べたように、画像生成にコンピュータグラフィックスの機能を利用するのは一例であり、数値計算により照合に必要な画素について輝度値を計算することでテクスチャを生成することも、もちろん可能である。

【0073】以下、テクスチャ全体のうち照合に用いる領域にある画素の輝度値を縦に並べたベクトルでテクスチャを表す。テクスチャ群にN個のテクスチャがあると

とき、各テクスチャをベクトル  $\bar{R}_i (i = 1, 2, \dots, N)$

で表すと、Vは数3で表される。

【0074】

【数3】

$$S = [\bar{R}_1 \quad \bar{R}_2 \quad \dots \quad \bar{R}_N]$$

$$V = \frac{1}{N} S S^T$$

【0075】次に、Vの各固有値  $\sigma_i$  と固有ベクトル  $\bar{B}_i$

とを固有値の大きい順にM個まで求める。そして、物体jのテクスチャ空間をベクトル  $\{\bar{B}_i\}$

を基底とするM次元線形空間  $\Psi_j$  で近似する。ここで、テクスチャ空間の次元Mは、照明の補正処理に必要とされている精度との兼ね合いで決めることができる。M個の固有ベクトルを使った場合、その固有値の累積寄与率は、数4で計算できる。

【0076】

【数4】

$$\frac{\sum_{i=1}^M \sigma_i}{\sum_{i=1}^N \sigma_i} \times 100 \quad [\%]$$

【0077】累積寄与率は、輝度値の差を用いてテクスチャの誤差を評価したときに、テクスチャ空間がどの程度正確に各テクスチャを表現できるかを表す数値である。この値に対して閾値を定めておけば、その閾値を上回るのに必要な次元数としてMを自動的に決定することができる。

【0078】次に、記憶工程において、前記3次元形状、および前記テクスチャ空間の固有ベクトルを登録データとして記憶しておく。

【0079】次に、照合過程について説明する。

【0080】入力画像撮影工程において、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の2次元画像を入力画像として撮影する。

【0081】位置姿勢推定工程では、入力画像を撮影したときの撮影条件である対象物体と撮像装置との間の位置・姿勢、撮像装置の内部パラメータ等を推定する。この位置姿勢推定工程は、手動または自動で行う様々な方法を利用することができる。

【0082】例えば、手動で行う方法の一例として、登録物体の3次元形状およびテクスチャを用いてコンピュータグラフィックスにより生成した画像（以下、CG画像と呼ぶ）と対象物体の入力画像とを重ね合わせたときに両者ができるだけぴったり重なるように、対話型のインタフェースを用いて位置姿勢のパラメータを調節したり入力したりする方法を利用できる。

【0083】自動で位置姿勢の推定を行う方法の一例としては、様々な位置姿勢での登録物体のCG画像を生成し、各CG画像を対象物体の入力画像と比較し、最も似ている画像を求めることで位置姿勢や撮像装置のパラメータを決定する方法が利用できる。

【0084】また、画像を比較する代りに、物体の画像

上で輝度値が大きく変化する部分など、特徴的な領域や点（以下、特徴点と呼ぶ）の位置を登録物体のCG画像と対象物体の入力画像とから検出し、前記特徴点の位置がもっとも近くなるようなCG画像を求めることで対象物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタを計算する方法も利用できる。

【0085】また、入力画像から対象物体の特徴点位置を検出し、各特徴点間の位置関係についての情報を利用して対象物体の位置姿勢を求める方法もある。文献11（「An analytic solution for the pose determination of human faces from a monocular image」, Shinn-Ying Ho, Hui-Ling Huang, Pattern Recognition Letters, Vol.19, 1045-1054, 1998）には、照合対象となる物体として人間の顔を用いる場合に目尻や口元といった特徴点を用い、両目の特徴点を結ぶ直線と左右の口元の特徴点を結ぶ直線とが互いに平行であるなどの位置関係を利用して位置姿勢を求める方法が記述されている。

【0086】また、請求項10記載の発明のように、登録物体の特徴点の位置を登録しておくことで、カメラキャリブレーションの方法が利用できる。これには多くの方法があり、一例として文献12（「An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision」, Roger Y. Tsai, Proc. CVPR'86, pp.364-374, 1986）に記載の方法が利用できる。

【0087】次に、照明変動空間生成工程および距離計算工程について説明する。

【0088】物体の照合は、入力画像

$$\vec{I}_q$$

と物体jの照明変動空間 $\Psi^j$ との距離を尺度として行うことができる。ここで、照明変動空間とは、物体jが入力画像の位置姿勢にあるときの照明変動による画像変動を包含する画像空間である。前記距離の計算方法の一例としては、例えば照明変動空間 $\Psi^j$ 内にあって最も入力画像に近い画像

$$\vec{I}_c$$

と入力画像

$$\vec{I}_q$$

との間の距離を計算する手法が利用可能である。距離の尺度としては様々なものが利用可能であるが、ここでは、一例として輝度値の2乗誤差を直接用いる例をもって説明する。これらの手法は一例であり、この他にも様々な距離の定義や計算方法が利用可能である。

【0089】まず、照明変動空間生成工程において、登録物体の3次元形状、照明変動テクスチャ空間、および前記推定された位置姿勢を用いて、照明変動空間を生成する。方法1や方法3などの従来技術では、この照明変動空間生成工程において多数の照明変動画像を生成する必要があり、その工程で陰影や影の計算に多くの計算量を要するために照合過程の処理に時間がかかるという問題があった。

【0090】本実施の形態では、登録物体のテクスチャ空間 $\Psi$ を推定された位置姿勢に合わせて変換することにより、容易に照明変動空間を生成可能である。この変換には様々な手法が利用可能であるが、一例として、テクスチャ空間の座標系から入力画像の座標系への変換を求めて照明変動空間を生成する、次のような手法を利用可能である。登録されているテクスチャ空間 $\Psi$ の各基底ベクトル

$$\vec{B}_i$$

の各要素の値を要素が対応する物体表面の輝度値とし、登録物体の3次元形状を用いて前記推定された位置姿勢における画像を生成する。この工程は、コンピュータグラフィックスの標準的機能のみで処理できるため、高速な演算が可能である。生成された各画像を基底ベクトル

$$\vec{B}'_i$$

とすれば、該基底ベクトル群が張る空間として照明変動空間 $\Psi'$ が生成できる。

【0091】距離計算工程では、照明変動空間 $\Psi'$ 内でもっとも入力画像

$$\vec{I}_q$$

に近い画像として比較画像

$$\vec{I}_c$$

を、数5で生成できる。

【0092】

【数5】

$$\vec{I}_c = \sum_{i=1}^n (\vec{I}_q \cdot \vec{B}'_i) \vec{B}'_i$$

【0093】ただし、ここで、ベクトル群

$$\{\vec{B}'_i\}$$

は、ベクトル群

$$\vec{B}'_i$$

を正規直交化した基底ベクトル群である。

【0094】該比較画像

$$\vec{I}_c$$

と入力画像

$$\vec{I}_q$$

との距離の評価値Dは、輝度値の差の2乗和として数6で計算できる。

【0095】

【数6】

$$D = |\vec{I}_q - \vec{I}_c|^2$$

【0096】照合判定工程では、前記評価値Dを入力画像と登録データとの類似度の評価値とし、これに基づいて、対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う判定処理を行う。例えば、簡単な閾値処理で対象物体が登録物体であるかの確認を行う場合は、ある閾値D'を定めておき、D < D'であれば対象物体が登録物体であると決定する。



## 【0097】(2) 第2の実施の形態

本発明の第2の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、図7に示す第2の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、前記登録物体測定工程が、登録物体の3次元形状を測定する3次元形状測定工程と、実際に様々な照明条件を設定して物体表面の各位置の輝度や色情報を撮影してテクスチャ群を生成するテクスチャ撮影工程から構成され、前記テクスチャ群生成工程がなく、前記撮影したテクスチャ群を代わりに用いることを特徴とする。

【0098】第2の実施の形態に係る発明では、登録過程において登録物体の3次元形状および表面反射率を測定し照明変動テクスチャ群を生成する代わりに、実際に様々な照明条件を設定して物体の画像を撮影することにより、照明変動テクスチャ群を撮影できることを利用している。

【0099】すなわち、第2の実施の形態に係る発明では、登録物体のテクスチャの照明条件による変動を包含するテクスチャ空間を生成するのに十分な照明変動テクスチャ群が撮影できるだけの適当な数の照明条件を設定し、その照明条件の下で画像情報を撮影しておけば、反射率を測定したりコンピュータグラフィックスによる画像生成における照明条件の設定や光線追跡による影の生成などの処理を行わなくても、照明変動空間を生成するためのテクスチャ群が生成できることを利用する。

【0100】前記テクスチャ画像撮影処理に用いることのできる方法の一例として、次のような方法がある。登録物体の前方に半球型のやぐらを設置し、一様な間隔で適当な数のランプを取り付ける。そして、各ランプを点灯させながら画像を撮影する。この他にも、ランプをマニピュレータに取り付けて移動させながら画像を撮影するなどの様々な方法が利用可能である。

## 【0101】(3) 第3の実施の形態

本発明の第3の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、図8に示す第3の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、第1または第2の実施の形態に係る発明の物体照合方法において、前記照明変動空間生成工程がない代わりに、前記3次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて入力画像をテクスチャに変換する入力テクスチャ生成工程があり、前記距離計算工程が、前記入

力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を計算する工程であることを特徴とする。

【0102】第3の実施の形態に係る発明では、テクスチャ空間を変換して位置姿勢を入力画像に合わせて照明変動空間を生成する代わりに、前記3次元形状および前記推定された位置姿勢を用いて入力画像の座標系からテクスチャ空間の座標系への座標変換を求め、該座標変換により入力画像を入力テクスチャに変換し、該入力テクスチャと前記テクスチャ空間との距離を物体照合の評価値として用いることができることを利用している。

【0103】前記座標変換を求めるためには様々な手法が利用可能であるが、一例として、テクスチャ空間の座標系によって一意に決まる色を対応する物体表面の色とし、登録物体の3次元形状を用いて前記推定された位置姿勢における画像を生成する。この工程は、コンピュータグラフィックスの標準的機能のみで処理できるため高速な演算が可能である。生成された画像の各画素の色は、その画素の対応するテクスチャ座標を示しているもので、入力画像の座標系からテクスチャ空間の座標系への変換が容易に生成できる。

## 【0104】(4) 第4の実施の形態

本発明の第4の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、図10に示す第4の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、第1ないし第3の実施の形態に係る発明において、前記登録過程において複数の登録物体の3次元形状を測定する代わりに、1つないし少数の登録物体の3次元形状を測定するだけで、該1つないし少数の登録物体の3次元形状の平均となる平均形状を出力し、照合対象となる全ての物体の形状は計測せず、反射率の測定が、照合対象となる全ての物体について反射率の計測または1つないし複数の照明条件の下での画像情報の撮影を行うものであり、以降の処理においては3次元形状として前記平均形状だけを用いるものである。

【0105】第4の実施の形態に係る発明では、特に互いに形状が類似している登録物体の場合には、全ての登録物体の3次元形状を測定しなくても、代表的な3次元形状データを代わりに用いることで、位置姿勢推定処理および照明補正処理が行えることを利用している。

【0106】平均形状の生成に利用できる方法の一例として、次のような方法がある。ここでは、2つの物体の平均形状を求める例をもって説明する。まず、物体1および物体2の3次元形状を測定する。そして、図11(a)に示すように、2つの物体の3次元形状を重心を一致させるように平行移動し、z軸に垂直な断面を考え、断面を適当な間隔でz軸方向に動かしながら、各断面上で平均形状を計算する。図11(b)に示すように、断面上で重心から物体の外側に向かった直線である平均計算軸を考え、物体1および物体2の形状との交点をP1、P2とする。平均形状である点Pmの3次元座標は、2つの物体表面上の点P1、P2の3次元座標(x1, y1, z1), (x2, y2, z2)を平均した

$$\left( \frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2}, \frac{z_1+z_2}{2} \right)$$

とする。この処理を平均計算軸を重心の周りに適当な間隔で回転しながら繰り返し行っていくことにより、物体1および物体2の平均形状が生成できる。3次元形状測定処理では、該平均形状を出力する。

【0107】この方法は、照合対象とする物体の数が3個以上になっても適用できる。また、平均形状を求める方法は、この他にも様々なものが利用可能である。

【0108】照合過程においては、データ記憶処理から前記平均形状を読み出し、各登録物体の3次元形状に代用する。

【0109】(5) 第5の実施の形態

本発明の第5の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、図12に示す第5の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、前記登録過程において、登録データに登録物体の特徴的な部位の位置情報を付与して登録すること特徴とする。

【0110】第7の実施の形態に係る発明では、登録物体の特徴点の位置を抽出して登録データとして記憶し、入力画像の特徴点の3次元座標を登録データから知ることができれば、前記特徴点の画像上の位置および3次元座標を用いて入力画像中の対象物体の位置姿勢および撮像装置のパラメタを自動的に求めることができることを利用している。

【0111】複数の点について画像上の位置および3次元座標が既知である場合に入力画像中の対象物体の位置姿勢および撮像装置のパラメタを自動的に求める方法としては、カメラキャリブレーションの方法が利用できる。これには多くの方法があり、一例として、文献12

(「An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision」, Roger Y. Tsai, Proc. CVPR'86, pp. 364-374, 1986)に記載の方法があるが、ここでは詳細については省略する。

【0112】(6) 第6実施の形態

本発明の第6の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、図15に示す第6の実施例の物体照合装置で実行されるものであり、第1ないし第4の実施の形態に係る発明の物体照合方法において、登録物体の3次元形状の測定を行わず、別途図面等から3次元形状を入力するものである。

【0113】第6の実施の形態に係る発明では、登録物体の3次元形状が、その物体の設計図などとして図面やデータとして存在する場合には、登録物体の測定を行わなくとも、図面などからデータを入力することにより登録過程が行えることを利用している。

【0114】一例として、照合対象となる物体が工業製品などの設計図の存在する物体である場合や、建築物などの3次元形状の測定が一般の3次元形状計測装置では困難であり別途測量等を行い形状を測定する場合には、図面等から登録物体の3次元形状を入力できる。

【0115】また、第6の実施の形態に係る発明の物体照合方法は、登録物体の反射率の測定を行わず、別途図面等から反射率や色情報を入力するものである。

【0116】第6の実施の形態に係る発明では、物体表面の反射率や色情報などが、その物体の設計図などとして図面やデータとして存在する場合には、前記反射率などの測定や撮像を行わなくとも、図面などからデータを入力することにより登録過程が行えることを利用して

る。

【0117】この一例として、照合対象となる物体が工業製品などの物体表面の各部位の塗装の反射率が既知の物体である場合に、図面等から物体の3次元形状を入力できることを利用している。

【0118】

【実施例】・第1の実施例

図1は、本発明の第1の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、登録物体測定手段110、照明変動テクスチャ群生成手段120、テクスチャ空間生成手段130、およびデータ記憶手段140を含む登録部100と、撮影手段210、位置姿勢推定手段220、照明変動空間生成手段230、距離計算手段240、および照合判定手段250を含む照合部200とから構成されている。

【0119】図2は、第1の実施例の物体照合装置の具体的な構成例を示す図である。登録部100には、3次元形状測定装置、登録処理装置、データベース記憶装置等が含まれている。また、照合部200には、カメラ、照合処理装置等が含まれている。

【0120】図1に示されるように、登録部100では、物体の3次元形状およびテクスチャ空間を記憶しておく。照合部200では、ビデオカメラなどの撮像装置を用いて2次元の画像を撮影し、照合処理を行う処理装置に取り込み、登録物体との照合処理を行う。

【0121】まず、登録部100において、物体の照合に用いる登録データとして、物体の3次元形状、および様々な照明条件の下でのテクスチャの変動を包含するテクスチャ空間を記憶しておく。

【0122】登録物体測定手段110は、3次元形状測定装置を用いて物体の3次元形状と、該3次元形状に対応する物体表面の反射率またはこれに相当する色情報とを測定する。これには、例えば、文献9記載の3次元形状測定装置を利用できる。この他にも、様々な装置が利用可能である。

【0123】照明変動テクスチャ群生成手段120は、図4に示すように、テクスチャ座標系生成手段121と、照明条件変化手段122と、陰影計算手段123とを備える。

【0124】テクスチャ座標系生成手段121は、物体の位置姿勢によらない物体表面上の各点の位置を表す座標系としてテクスチャ座標系を設定し、該テクスチャ座標(s, t)に対する物体表面の形状(3次元座標)および反射率を出力する。このテクスチャ座標系の設定方法には様々な方法を用いることができるが、ここでは一例として球面への投影を用いる手法を説明する。図3に示すように、物体の重心を中心として物体を覆う球を考え、物体表面上の各点Pを重心を中心として前記球表面上へ投影し、投影された点Qの経度、緯度(s, t)をテクスチャ座標とする手法が利用できる。この手法は、

あくまで一例であり、この他にも登録する物体の形状に適した様々な手法を利用可能である。

【0125】照明条件変換手段122は、照明変動空間を近似するのに十分な数の照明条件群を設定する。例えば、無限遠にある1つの点光源を考え、図5に示すような物体を中心とした球面の経度、緯度を表す $(\theta, \phi)$ の角度で光源の方向を示すとし、経度 $\theta$ および緯度 $\phi$ を $10^\circ$ おきに $-90^\circ$ から $90^\circ$ まで変化させ、361種類の照明条件群を設定する。この光源の種類、および照明方向の設定間隔や範囲の決め方は一例であり、種々変更可能である。

【0126】陰影計算手段123は、物体jの3次元形状および反射率を読み込み、照明条件変換手段122から入力される照明条件群における照明変動テクスチャ群を、コンピュータグラフィックスなどの機能を使って生成する。この処理は、一例として、グラフィックス機能を備えたコンピュータの基本機能をもって実現できる。コンピュータグラフィックスを用いた画像生成においては、様々な物体表面の反射モデル、カメラモデル等を使うことができる。一例としては、カメラモデルとしてピンホールカメラモデル、物体表面の反射モデルとして完全散乱モデルを用いることができる。これらのモデルは一例であり、光線追跡処理を行って影を付けたり、てかりを付けるために他の様々な反射モデルを用いることもできる。この画像生成処理において、物体表面の反射特性や光源などのモデルをより現実に近い正確なものとすることで、照合性能を向上させることができる。また、この画像生成は、コンピュータグラフィックスを用いなくとも、数値計算によって実現可能である。

【0127】テクスチャ空間生成手段130は、前記生成された照明変動テクスチャ群から、照明条件が様々な変動した場合のテクスチャの変動を包含するような画像空間であるテクスチャ空間を計算する。

【0128】これには様々な手法が利用可能であるが、本実施例では主成分分析を利用して、テクスチャ空間を低次元の線形空間として表す方法を用いる例を示す。

【0129】照明変動テクスチャ群生成手段120で生成された照明変動テクスチャ群からテクスチャ空間を前記数3に従って計算し、計算された基底ベクトル群を物体のテクスチャ空間 $\Psi_j$ として出力する。本実施例では、固有値の大きい順にM個の基底ベクトルを求め、物体jのテクスチャ空間 $\Psi_j$ として出力する。この基底ベクトルの数Mを一例として前記数4で計算される累積寄与率が95%を超える数として決定するには、照明変動テクスチャ群の画像の数に等しい361または画素数がそれ以下である場合は画素数の数をNとし、N個の固有値を求め、

$$\frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \geq 0.95$$

となる数Mを求めて決定する。数Mの決定法は、他にも

様々な基準を適用して決めることが可能である。

【0130】データ記憶手段140では、登録された各物体の3次元形状およびテクスチャ空間を記憶保持し、照合部200の処理のために適時読み出す。

【0131】以上の登録部100の処理を行った物体に対して、以下の照合部200において画像を用いた物体照合処理を行う。

【0132】照合部200において、カメラなどの撮像装置を利用して対象物体の入力画像を撮影し、照合手段である処理装置に取り込む。

【0133】撮影手段210では、カメラやビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の入力画像が撮影される。

【0134】位置姿勢推定手段220では、入力画像を撮影したときの撮影条件である物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタ等を推定する。例えば、位置姿勢パラメタとして、物体の平行移動距離 $(T_x, T_y, T_z)$ 、回転角度 $(R_x, R_y, R_z)$ 、カメラの焦点距離 $f$ 、および視野角 $\alpha$ を用いる。そして、これらのパラメタを利用者が画面を見ながら手動で調整できるような対話型のインタフェースを処理装置上に備えておく。例えば、画面には前記8つのパラメタを用いてコンピュータグラフィックスにより生成された登録物体の画像と対象物体の入力画像とがスーパーインポーズ法により重ね合わされて表示されている。利用者は、2つの画像がびったり重なるように前記8つのパラメタの値を調節し、適切なパラメタを決定する。この対話型のインタフェースについては一例であり、様々な形態のものが利用可能である。また、このような対話型インタフェースを用いなくとも、自動的に位置姿勢パラメタの計算を行ってもよい。

【0135】照明変動空間生成手段230では、前記位置姿勢推定手段220の結果を利用して、入力画像と同じ位置姿勢で、様々な照明条件の下での物体の画像変動を包含する画像空間である照明変動空間を生成する。すなわち、登録されているテクスチャ空間 $\Psi_j$ を推定された位置姿勢に合わせて変換することにより、照明変動空間を生成する。この変換には様々な手法が利用可能であるが、一例として、テクスチャ空間の座標系から入力画像の座標系への変換を求めて照明変動空間を生成する、次のような手法を利用可能である。

【0136】登録されているテクスチャ空間 $\Psi_j$ の各基底ベクトル

$$\vec{B}_i (i = 1, 2, \dots, M)$$

の各要素の値を要素が対応する物体表面の輝度値とし、登録されている3次元形状を用いて前記推定された位置姿勢における画像群を生成する。この工程は、コンピュータグラフィックスの標準的機能のみで処理できるため高速な演算が可能である。生成された各画像をそのまま基底ベクトル

$$\vec{B}'_i$$

とすれば、該基底ベクトル群

$$\{\vec{B}_i\}$$

が張る空間として照明変動空間 $\Psi'$ が生成できる。生成された基底ベクトル群

$$\{\vec{B}_i\}$$

を正規直交化し、正規直交系をなす基底ベクトル群

$$\{\vec{b}_i\}$$

を計算する。

【0137】距離計算手段240では、照明変動空間 $\Psi'$ 内でもっとも入力画像

$$\vec{I}_i$$

に近い画像として比較画像

$$\vec{I}_c$$

を前記数5で生成し、該比較画像

$$\vec{I}_c$$

と入力画像

$$\vec{I}_i$$

との距離の評価値Dを前記数6で計算し出力する。

【0138】照合判定手段250では、前記評価値Dを入力画像と登録データとの類似度の評価値とし、これに基づいて、対象物体が登録物体であるかどうかの確認、登録物体のうちのどの物体であるかの検索、登録物体のうちの似ている物体の検索などの処理を行う判定処理を行う。例えば、簡単な閾値処理で対象物体が登録物体であるかの確認を行う場合は、ある閾値D'を定めておき、 $D < D'$ であれば対象物体が登録物体であると決定する。

【0139】以上の距離の計算方法や照合判定方法はあくまで一例であり、この他にも様々な手法を適用可能である。

【0140】・第2の実施例

図7は、本発明の第2の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、3次元形状測定手段2110、テクスチャ撮影手段2121、テクスチャ空間生成手段130、およびデータ記憶手段140を含む登録部2100と、撮影手段210、位置姿勢推定手段220、照明変動空間生成手段230、距離計算手段240、および照合判定手段250を含む照合部200とから構成されている。

【0141】第2実施例の物体照合装置は、第1の実施例の物体照合装置と比較し、登録物体測定手段110において反射率を測定する代わりに、テクスチャ撮影手段2121を追加し複数の照明条件の下で画像を撮影しておき、それらの画像を反射率の代わりに用いて照明変動テクスチャ群を生成する点、および照明条件変化手段122がない点が異なる。

【0142】まず、登録部2100において、登録物体の登録データとして、登録物体の3次元形状、および複数の照明条件の下での画像データを登録しておく。

【0143】3次元形状測定手段2110では、前記第

1の実施例における登録物体測定手段110と同様に、文献9記載の3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状を測定するが、反射率は測定しない。

【0144】テクスチャ撮影手段2121では、前記第1の実施例における照明条件変化手段122から出力される照明条件と同等な照明条件を実際に設定して登録物体の画像群を撮影し、前記照明変動テクスチャ群生成手段120と同等の手法によって前記3次元形状を用いてテクスチャ座標系を生成し、該テクスチャ座標系に前記画像群を変換することにより照明変動テクスチャ群として出力する。例えば、登録物体の前方に登録物体を中心とした半球型のやぐらを設置し、適当な間隔で適当な数のランプを取り付ける。一例としては、登録物体に対して、図5に示される角度( $\theta$ ,  $\phi$ )において、 $\theta$ ,  $\phi$ について-90度から90度までの範囲でそれぞれ15度間隔にランプを取り付け、各ランプを点灯させながら1枚ずつ画像を撮影する。この撮影方法および照明位置の設定方法は一例であり、この他にもランプをマンピュレータに取り付けて移動させながら画像を撮影するなど様々な方法が利用可能である。テクスチャ撮影手段2121は、前記の方法により撮影した画像群を照明変動テクスチャ群として出力する。

【0145】テクスチャ空間生成手段130およびデータ記憶手段140は、第1の実施例とまったく同等である。

【0146】以下の照合部200は、第1の実施例における照合部200と同等である。

【0147】・第3実施例

図8は、本発明の第3の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、登録物体測定手段110、照明変動テクスチャ群生成手段120、テクスチャ空間生成手段130、およびデータ記憶手段140を含む登録部100と、撮影手段210、位置姿勢推定手段220、入力テクスチャ生成手段231、距離計算手段241、および照合判定手段250を含む照合部3200とから構成されている。

【0148】登録部100は、第1の実施例における登録部100と同等である。

【0149】照合部3200は、第1の実施例における照合部200と比較し、前記照明変動空間生成手段230がない代わりに、入力テクスチャ生成手段231があり、また、距離計算手段241が入力画像を変換した入力テクスチャとテクスチャ空間との距離を計算する点が異なる。

【0150】撮影手段210から位置姿勢推定手段220までの処理は、第1の実施例とまったく同等である。

【0151】入力テクスチャ生成手段231では、前記位置姿勢推定手段220の結果を利用して、入力画像の各画素をテクスチャ座標に変換し変形することで入力

テクスチャを生成する。この変換には様々な手法が利用可能であるが、一例として、入力画像の座標系 (u, v) からテクスチャ空間の座標系 (s, t) への変換を求めて照明変動空間を生成する次のような手法を利用可能である。

【0152】登録されている3次元形状に対し、物体表面の色としてテクスチャ座標 (s, t) によって唯一に決まる色を割り当てた仮想物体を定義し、前記推定された位置姿勢にあるときの画像を生成する。この処理は、コンピュータグラフィックスの標準的機能のみで処理できるため高速な演算が可能である。生成された画像の各画素 R (u, v) の色を見ればテクスチャ座標 Q (s, t) がわかるので、図9に示すように入力画像の座標系 (u, v) からテクスチャ座標 (s, t) への座標変換が求められる。入力画像上で照合に用いるすべての画素についてこの変換を適用し、入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

を生成する。

【0153】距離計算手段241では、テクスチャ空間  $\Psi$  内でもっとも入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

に近いテクスチャとして比較テクスチャ

$$\bar{T}_e$$

を生成し、該比較テクスチャ

$$\bar{T}_e$$

と入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

との距離の評価値 D を出力する。

【0154】登録されているテクスチャ空間  $\Psi$  を読み込み、各基底ベクトル

$$\bar{B}_i$$

のうち、入力画像で、見えていない領域 (図9の領域 B) を除き、前記入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

の生成時に入力画像と対応がついた画素 (図9の領域 A) に対応する要素のみを抜き出し、該要素を並べたベクトル

$$\bar{C}_i$$

を生成する。

【0155】テクスチャ空間  $\Psi$  と入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

との距離 D は、数7のように入力テクスチャ

$$\bar{T}_q$$

を

$$\{\bar{c}_i\}$$

の線形和で表したときの誤差の最小値として最小二乗法で計算できる。

【0156】

【数7】

$$\min_{a_i} (\bar{T}_q - \sigma_i(a_i \bar{c}_i))$$

【0157】・第4の実施例

図10は、本発明の第4の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、登録物体測定手段110、平均形状生成手段111、照明変動テクスチャ群生成手段120、テクスチャ空間生成手段130、およびデータ記憶手段141を含む登録部4100と、撮影手段210、位置姿勢推定手段220、照明変動空間生成手段230、距離計算手段240、および照合判定手段250を含む照合部200とから構成されている。

【0158】第4の実施例の物体照合装置は、第1の実施例の物体照合装置と比較し、登録部4100において複数の登録物体を登録する場合に、登録物体測定手段110で全ての登録物体の3次元形状を測定する代わりに、1つないし少数の登録物体の3次元形状を計測するだけで、平均形状生成手段111において該1つないし少数の登録物体の3次元形状の平均となる平均形状を出力し、照合対象となる全ての物体の形状は計測しない点、および照合部200において前記平均の3次元形状を利用する点が異なる。

【0159】以下では、物体1および物体2の2つの登録物体を登録する例を用いて説明する。

【0160】まず、登録部4100において、物体の照合に用いる登録データとして、物体1および物体2の2つの登録物体について、平均形状、およびそれぞれのテクスチャ空間を登録しておく。

【0161】登録物体測定手段110では、文献9記載の3次元形状測定装置を用いて、物体1および物体2の3次元形状を測定する。

【0162】平均形状生成手段111では、図11

(a)に示すように、2つの物体1および物体2の3次元形状を重心を一致させるように平行移動し、z軸に垂直な断面を適当な間隔で設定し、それぞれの断面上で平均形状を計算する。図11(b)に示すように、断面上で重心から物体の外側に向かって平均計算軸となる直線を考え、物体1および物体2の形状との交点をP1、P2とする。平均形状である点Pmの3次元座標は、2つの物体表面上の点P1、P2の3次元座標 (x1, y1, z1), (x2, y2, z2) を平均した  $(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2}, \frac{z_1+z_2}{2})$

とする。この処理を平均計算軸を重心の周りに回転しながら適当な間隔で行うことにより、物体1および物体2の平均形状が生成できる。平均形状生成手段111では、該平均形状を出力する。

【0163】以下の処理では、前記平均形状を個々の物体の3次元形状の代わりに用い、データ記憶手段141では、前記平均形状および各物体のテクスチャ空間を記憶すること以外は、すべて第1の実施例と同等である。

【0164】照合部200における処理は、物体1および物体2の形状としてデータ記憶手段141から読み出される3次元形状が前記平均形状である点のみが第1の実施例と異なり、他の処理は全て同様である。

【0165】以上、第4の実施例では2つの登録物体を登録する際にその平均形状を記憶する例を説明したが、これはあくまで1例であり、登録物体の数が3つ以上になったり、そのうちの任意の数の登録物体の平均形状を求めて利用することも同様の処理により可能である。

【0166】・第5の実施例

図12は、本発明の第5の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、登録物体測定手段110、照明変動テクスチャ群生成手段120、テクスチャ空間生成手段130、データ記憶手段143、および特徴点位置抽出手段150を含む登録部5100と、撮影手段210、位置姿勢推定手段221、照明変動空間生成手段230、距離計算手段240、および照合判定手段250を含む照合部5200とから構成されている。

【0167】第5の実施例の物体照合装置は、第1の実施例の物体照合装置と比較し、登録部5100において、登録物体の画像上で輝度値が大きく変化するなどの特徴的な点の位置を抽出し特徴点位置として出力する特徴点位置抽出手段150が追加されている点、データ記憶手段143において前記特徴点位置も記憶する点、および照合部5200の位置姿勢推定手段221においてデータ記憶手段143から前記特徴点位置を読み込み対象物体の位置姿勢を自動的に推定する点が異なる。

【0168】第5の実施例では、照合対象となる物体の一例として人の顔を用いる。

【0169】まず、登録部5100において、物体の照合に用いる登録データとして、登録物体の3次元形状および反射率を測定し、該3次元形状および反射率などから登録物体の特徴点の3次元座標を求め、前記3次元形状、テクスチャ空間、および特徴点位置を登録しておく。

【0170】登録物体測定手段110では、3次元形状測定装置を用いて登録物体の3次元形状および反射率を測定する。本実施例では、3次元形状測定装置の一例として、文献9記載の3次元形状測定装置を用いるが、この他にも様々な装置が利用可能である。

【0171】特徴点位置抽出手段150では、登録物体の画像上で輝度値が大きく変化する部分など、特徴的な領域や点（特徴点）の位置を検出し、その3次元座標を特徴点位置として出力する。一例として、人物の顔を照合対象となる物体とする場合には、目じりや口元などの反射率が大きく変化している部位や鼻の頭などの3次元形状が大きく変化している部位を検出する。これは、手動で行うこともできるし、自動的に行う方法として前記文献2（特許第2872776号「顔画像照合装

置」）や、文献4（特開平6-168317号公報「個人識別装置」）記載の方法などの様々な方法を利用できる。本実施例では、図14に示すような位置の12個の点（0～11）を特徴点として用いる。これらの特徴点の定義は、照合対象となる物体により様々に変更可能であることはいうまでもない。以下では、これら特徴点の3次元座標である特徴点位置を、

$$\vec{A}_i = (x_i, y_i, z_i), (i = 0, 1, \dots, 11)$$

で表す。

10 【0172】データ記憶手段143では、各登録物体の3次元形状、テクスチャ空間、および特徴点位置を記憶保持し、照合部5200の処理のために適時読み出す。

【0173】以上の登録部5100の処理を行った登録物体に対して、以下の照合部5200において対象物体の入力画像を用いた物体照合処理を行う。

【0174】撮影手段210では、カメラやビデオカメラなどの撮像装置を用いて対象物体の入力画像が撮影される。

【0175】位置姿勢推定手段221では、入力画像を撮影したときの撮影条件である対象物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタ等を推定する。

20 【0176】図13を参照すると、位置姿勢推定手段221は、さらに、特徴点抽出手段222と、位置姿勢計算手段223とから構成されている。

【0177】特徴点抽出手段222では、前記登録部5100における特徴点位置抽出手段150で抽出した特徴点群

$$\vec{A}_i$$

30 と同じ特徴点の位置を入力画像から抽出し、入力画像上での位置

$$\vec{B}_i = (u_i, v_i), (i = 0, 1, 2, \dots, 11)$$

を入力画像特徴点位置として出力する。これは、人が処理装置の画面上に表示された入力画像を見ながら手動で入力することもできるし、前記文献4および文献5に記載の方法などの前記特徴点位置抽出手段150で用いたのと同様の様々な方法を利用可能である。本実施例は、人の顔を照合する場合を一例として挙げているが、例えば多面体形状の物体を照合対象とする場合には頂点が特徴点として利用でき、画像からエッジを抽出し、それらの交点として多面体の頂点を検出することができる。また、物体表面に特徴的な模様がある場合などには、その模様の位置を利用することもできる。

40 【0178】位置姿勢計算手段223では、前記入力画像特徴点位置と、データ記憶手段143から読み出す特徴点位置とを利用し、入力画像中にある対象物体の位置姿勢や撮像装置のパラメタなどを計算し、位置姿勢として出力する。この計算には前記文献5の方法など様々な方法が利用可能であるが、本実施例では一例として位置姿勢のパラメタとして対象物体の平行移動距離（ $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ）、 $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸の周りの回転角度（ $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ）を用いる。



$R_y, R_z$ ), およびカメラの焦点距離  $f$  をとり、カメラモデルとしてピンホールカメラを用いて、次のような方法で行う。前記のように、焦点距離  $f$  などの撮像装置のパラメータも含めて位置姿勢と呼ぶ。特徴点位置

$\vec{A}_i$

と入力画像特徴点位置

$\vec{B}_i$

との間の関係は、数 8 で表される。

【0179】

【数 8】

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} = \frac{f}{c} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos R_y \cos R_z & -\cos R_x \sin R_z + \sin R_x \sin R_y \cos R_z & \sin R_x \sin R_z + \cos R_x \sin R_y \cos R_z \\ \cos R_y \sin R_z & \cos R_x \cos R_z + \sin R_x \sin R_y \sin R_z & -\sin R_x \cos R_z + \cos R_x \sin R_y \sin R_z \\ -\sin R_y & \sin R_x \cos R_y & \cos R_x \cos R_y \end{bmatrix}$$

【0184】12個の各特徴点についての前記数 8 で計算される値と入力画像特徴点位置の値との誤差の総和が最小になるように、 $R_x, R_y, R_z, T_x, T_y, T_z, f$  を最適化計算により求める。この最適化の計算には、様々な方法が利用できる。求めた  $R_x, R_y, R_z, T_x, T_y, T_z, f$  を位置姿勢パラメータとして出力する。

【0185】前記の位置姿勢パラメータやカメラモデルの定義および計算方法はあくまで一例であり、この他にも様々な方法を利用可能である。

【0186】照明変動空間生成手段 230 以下の処理については、第 1 の実施例と同等である。

【0187】・第 6 の実施例

図 15 は、本発明の第 6 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、登録物体入力手段 112、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 140 を含む登録部 6100 と、撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 200 とから構成されている。

【0188】第 6 の実施例の物体照合装置は、照合対象の物体が工業製品であり、その形状の設計図が CAD

(Computer Aided Design) データとして保存されており、表面の塗装の仕様がデザイン図によって決められているとする。このため、第 6 の実施例の物体照合装置は、図 1 に示した第 1 の実施例の物体照合装置と比較し、登録物体入力手段 112 において、設計図の CAD データから 3 次元形状を、デザイン図から反射率を読み込む点が異なる。

【0189】登録物体入力手段 112 は、設計図の CAD データを、照合部 200 で扱えるデータ形式に変換して 3 次元形状として出力する。また、デザイン図から登

【0180】ただし、ここで、 $a, b, c$  は、数 9 で表される値である。

【0181】

【数 9】

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

【0182】 $R$  は、数 10 で表される回転を表す行列である。

【0183】

【数 10】

録物体の各部の色、表面の仕上げの方法などを読み込み、反射率に変換して出力する。照合部 200 については、第 1 の実施例と全く同等である。

【0190】・第 7 の実施例

図 16 は、本発明の第 7 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 1 に示した第 1 の実施例の物体照合装置に対して、登録部 100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1000 を備え、照合部 200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2000 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1000、2000 は、磁気ディスク、半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。

【0191】登録プログラムは、記録媒体 1000 から登録部 100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を登録物体測定手段 110、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 140 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 100 の動作は、第 1 の実施例における登録部 100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0192】また、照合プログラムは、記録媒体 2000 から照合部 200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 200 の動作は、第 1 の実施例における照合部 200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0193】・第 8 の実施例

図 17 は、本発明の第 8 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 7 に示した第 2 の実施例の物体照合装置に対して、登

録部 2100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1010 を備え、照合部 200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2000 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1010、2000 は、磁気ディスク、半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。

【0194】登録プログラムは、記録媒体 1010 から登録部 2100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を 3 次元形状測定手段 2110、テクスチャ撮影手段 2121、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 140 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 2100 の動作は、第 2 の実施例における登録部 2100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0195】また、照合プログラムは、記録媒体 2000 から照合部 200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 200 の動作は、第 2 の実施例における照合部 200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

#### 【0196】・第 9 の実施例

図 18 は、本発明の第 8 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 8 に示した第 3 の実施例の物体照合装置に対して、登録部 100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1000 を備え、照合部 3200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2010 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1000、2010 は、磁気ディスク、半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。

【0197】登録プログラムは、記録媒体 1000 から登録部 100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を登録物体測定手段 110、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 140 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 100 の動作は、第 3 の実施例における登録部 100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0198】また、照合プログラムは、記録媒体 2010 から照合部 3200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、入力テクスチャ生成手段 231、距離計算手段 241、および照合判定手段 250 を含む照合部 3200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 3200 の動作は、第 3 の実施例における照合部 3200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

#### 【0199】・第 10 の実施例

図 19 は、本発明の第 10 の実施例の物体照合装置の構

成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 10 に示した第 4 の実施例の物体照合装置に対して、登録部 4100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1020 を備え、照合部 200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2000 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1020、2000 は、磁気ディスク、半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。

【0200】登録プログラムは、記録媒体 1020 から登録部 4100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を登録物体測定手段 110、平均形状生成手段 111、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 141 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 4100 の動作は、第 4 の実施例における登録部 4100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0201】また、照合プログラムは、記録媒体 2000 から照合部 200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 200 の動作は、第 4 の実施例における照合部 200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

#### 【0202】・第 11 の実施例

図 20 は、本発明の第 11 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 12 に示した第 5 の実施例の物体照合装置に対して、登録部 5100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1030 を備え、照合部 5200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2020 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1030、2020 は、磁気ディスク、半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。

【0203】登録プログラムは、記録媒体 1030 から登録部 5100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を登録物体測定手段 110、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、データ記憶手段 143、および特徴点位置抽出手段 150 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 5100 の動作は、第 5 の実施例における登録部 5100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0204】また、照合プログラムは、記録媒体 2020 から照合部 5200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 221、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 5200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 5200 の動作は、第 5 の実施例における照

合部 5200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

#### 【0205】・第 12 の実施例

図 21 は、本発明の第 12 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。本実施例の物体照合装置は、図 15 に示した第 6 の実施例の物体照合装置に対して、登録部 6100 に登録プログラムを記録した記録媒体 1040 を備え、照合部 200 に照合プログラムを記録した記録媒体 2000 を備える点が異なっている。これらの記録媒体 1040、2000 は、磁気ディスク、

半導体メモリ、その他の記録媒体であってよい。  
【0206】登録プログラムは、記録媒体 1040 から登録部 6100 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を登録物体入力手段 113、照明変動テクスチャ群生成手段 120、テクスチャ空間生成手段 130、およびデータ記憶手段 140 として制御する。登録プログラムの制御による登録部 6100 の動作は、第 6 の実施例における登録部 6100 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0207】また、照合プログラムは、記録媒体 2000 から照合部 200 を構成するコンピュータに読み込まれ、当該コンピュータの動作を撮影手段 210、位置姿勢推定手段 220、照明変動空間生成手段 230、距離計算手段 240、および照合判定手段 250 を含む照合部 200 として制御する。照合プログラムの制御による照合部 200 の動作は、第 2 の実施例における照合部 200 の動作と全く同様になるので、その詳しい説明を割愛する。

【0208】本発明は、前記各実施例に述べたように、一般の物体に対して応用可能であるが、特に自動車の車種・型式の照合、人物の顔の照合などの応用にも有効である。

【0209】以上、本発明を前記各実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は前記各実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

#### 【0210】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、登録部でのみ登録物体の 3 次元形状および物体表面の反射率または適当な照明条件の下での画像を計測すればよく、照合部における撮影手段としてはビデオカメラなどの通常の 2 次元画像を撮影する撮像装置があるだけで十分であり、照合段階において 3 次元形状測定装置を必要とせずに実用的な装置を構成できる。

【0211】また、登録物体の 3 次元形状が登録されているので、入力画像における対象物体の 3 次元的位置姿勢の変動に対して完全に補正することができる。さらに、照明条件の変動に対しても十分な補正を行うことができる。

【0212】さらに、本発明の照明補正処理は、あらか

じめ登録過程において計算済みである照明変動テクスチャ空間を、入力画像における対象物体の位置姿勢に合わせて変換して照明変動空間を生成するため、位置姿勢が変化しても照明変動テクスチャ群を生成し直す必要がなく、従来の技術である方法 1、方法 3 よりも高速な処理で照合判定を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】本発明の物体照合装置の具体的構成の一例を示す図である。

【図 3】テクスチャ座標系を物体表面に対して定義する手法の一例を説明する図である。

【図 4】図 1 中の照明変動テクスチャ群生成手段の構成をより詳細に示すブロック図である。

【図 5】照明条件を決める照明の物体に対する方向を表す角度を説明する図である。

【図 6】画像を利用した物体照合装置の例を示した図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】本発明の第 3 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】図 8 中の入力テクスチャ生成手段における入力画像座標からテクスチャ座標への変換を説明する図である。

【図 10】本発明の第 4 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 11】図 10 中の平均形状生成手段における平均形状の生成方法を説明する図である。

【図 12】本発明の第 5 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 13】図 12 中の位置姿勢推定手段のより詳細な構成を示すブロック図である。

【図 14】照合対象となる物体の特徴点として用いる物体の部位の一例を示す図である。

【図 15】本発明の第 6 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 16】本発明の第 7 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 17】本発明の第 8 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 18】本発明の第 9 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 19】本発明の第 10 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 20】本発明の第 11 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 21】本発明の第 12 の実施例の物体照合装置の構成を示すブロック図である。

【図 2 2】従来の物体照合技術の一例として、登録時と照合時とでともに 2 次元の画像のみを用いる技術の構成を説明する図である。

【図 2 3】従来の物体照合技術の一例として、登録時と照合時とでともに 3 次元形状を測定する技術の構成を説明する図である。

【図 2 4】従来の物体照合技術の一例として、登録時と照合時とでともに 2 次元の画像を撮影し、位置姿勢の補正に標準 3 次元形状モデルを用いる技術の構成を説明する図である。

【図 2 5】従来の物体照合技術の一例として、登録時に多数の位置姿勢や照明条件の下で画像を撮影し認識を行う技術の構成を説明する図である。

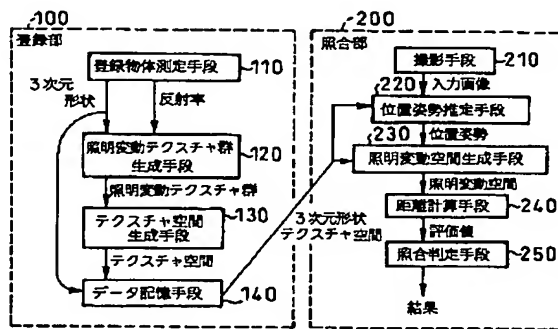
【図 2 6】従来の物体照合技術の一例として、登録時に複数の照明条件の下で 2 次元の画像を撮影し照明条件補正を行う技術の構成を説明する図である。

【図 2 7】従来の物体照合技術の一例として、登録時に多数の照明条件の下で 2 次元の画像を撮影し照明条件補正を行う技術の構成を説明する図である。

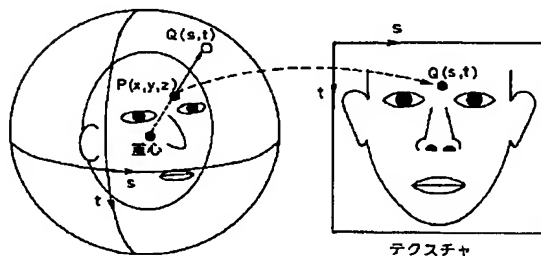
【符号の説明】

100, 2100, 4100, 5100, 6100 登録部

【図 1】

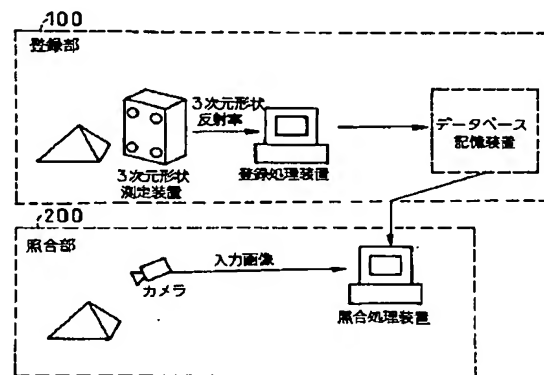


【図 3】

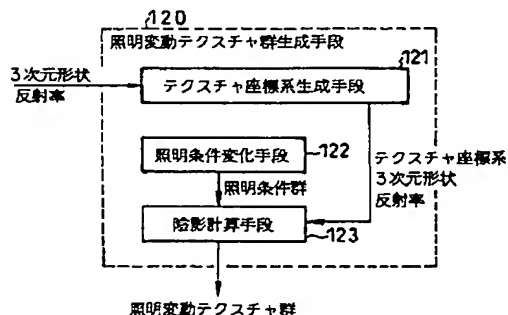


- 110 登録物体測定手段
- 111 平均形状生成手段
- 112 登録物体入力手段
- 120 照明変動テクスチャ群生成手段
- 121 テクスチャ座標系生成手段
- 122 照明条件変化手段
- 123 陰影計算手段
- 130 テクスチャ空間生成手段
- 140, 141, 143 データ記憶手段
- 150 特徴点位置抽出手段
- 200, 3200, 5200 照合部
- 210 撮影手段
- 220, 221 位置姿勢推定手段
- 230 照明変動空間生成手段
- 231 入力テクスチャ生成手段
- 240, 241 距離計算手段
- 250 照合判定手段
- 1000, 1010, 1020, 1030, 1040 記録媒体
- 2000, 2010, 2020 記録媒体
- 2110 3次元形状測定手段
- 2121 テクスチャ撮影手段

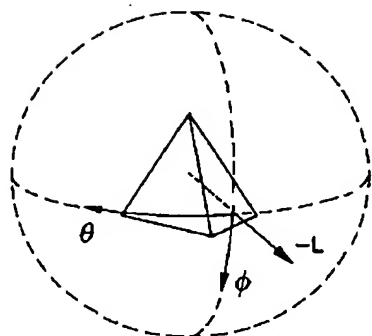
【図 2】



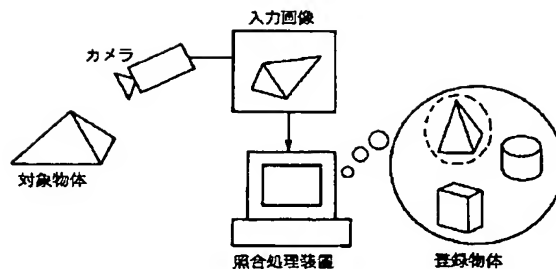
【図 4】



【図5】

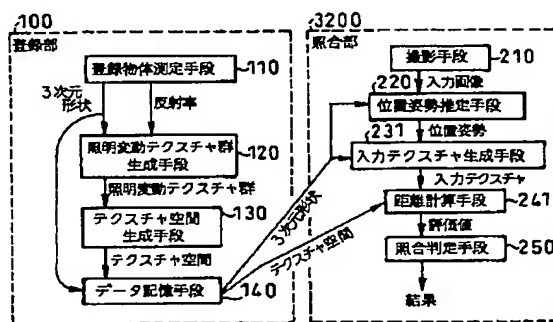
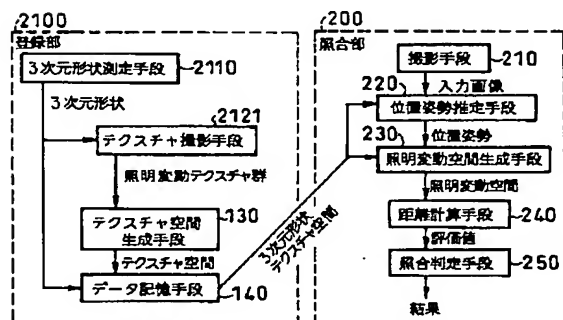


【図6】



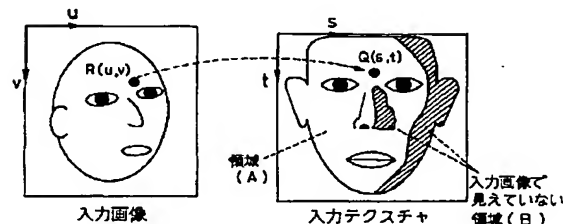
【図8】

【図7】



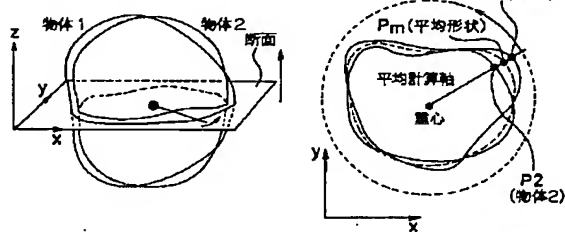
【図11】

【図9】



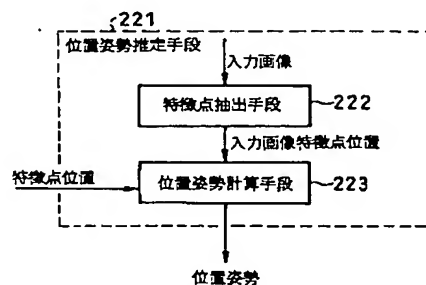
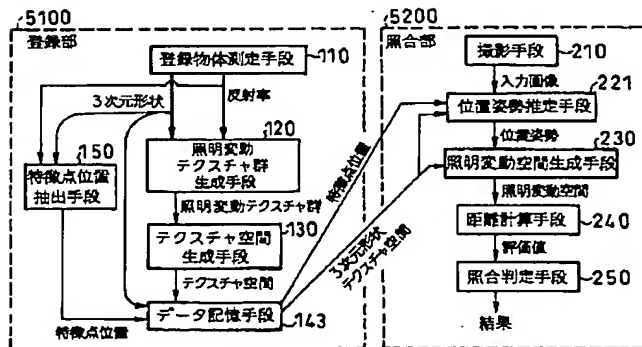
(a)

(b)

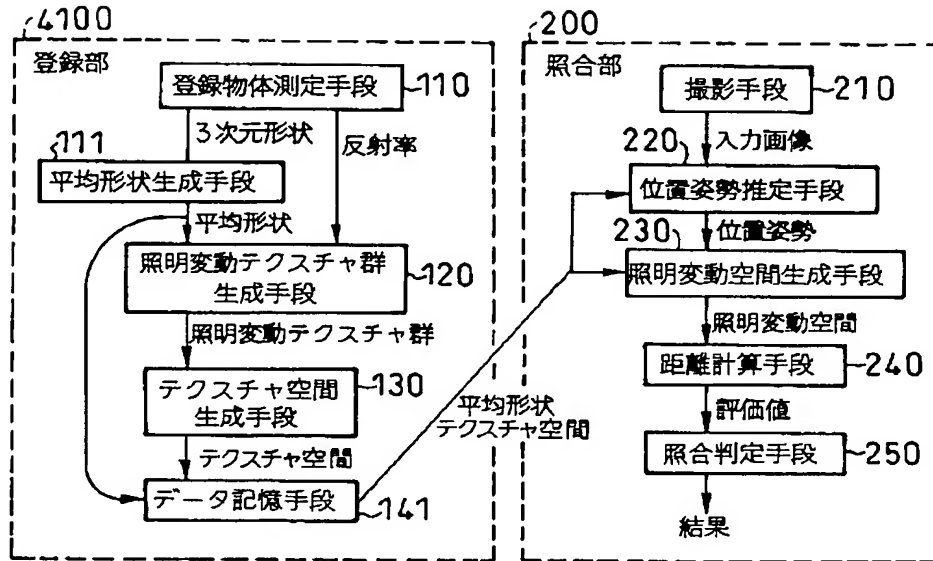


【図13】

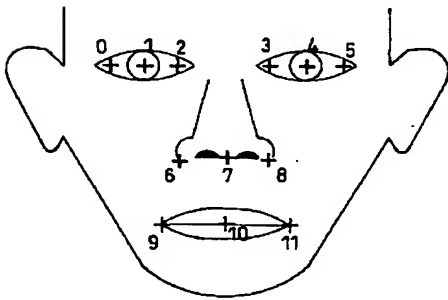
【図12】



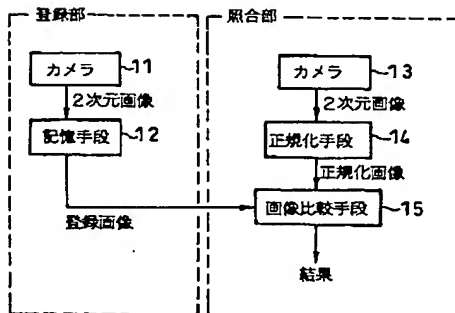
【図10】



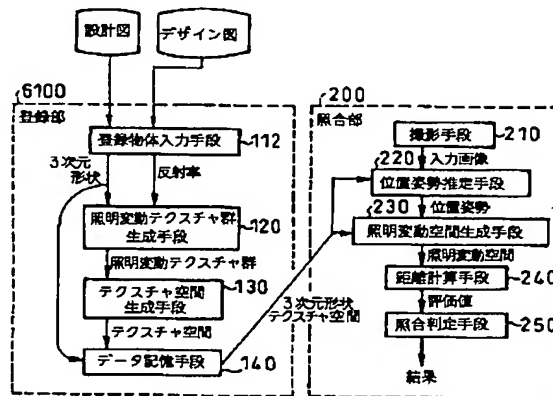
【図14】



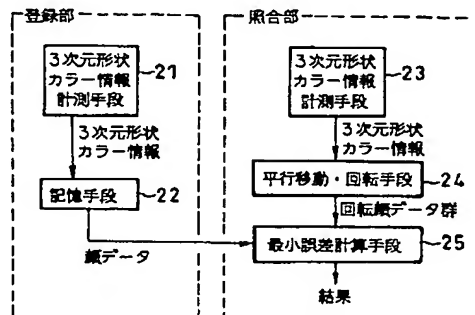
【図22】



【図15】

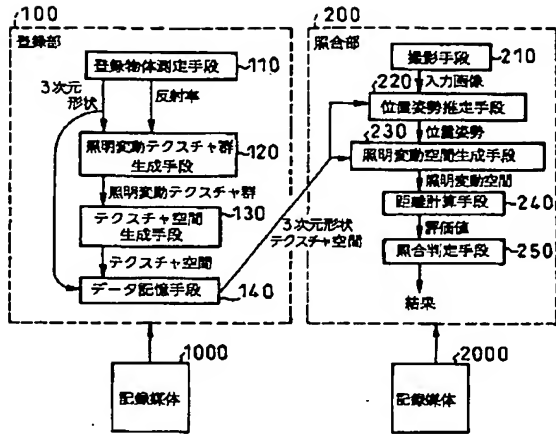


【図23】

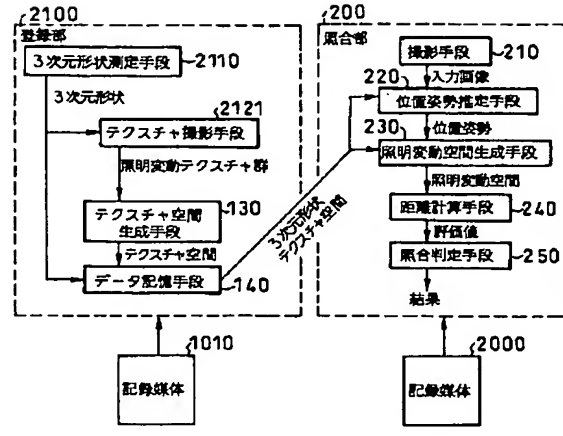




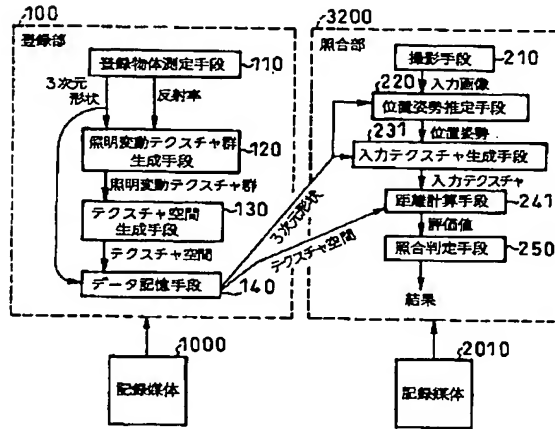
【図16】



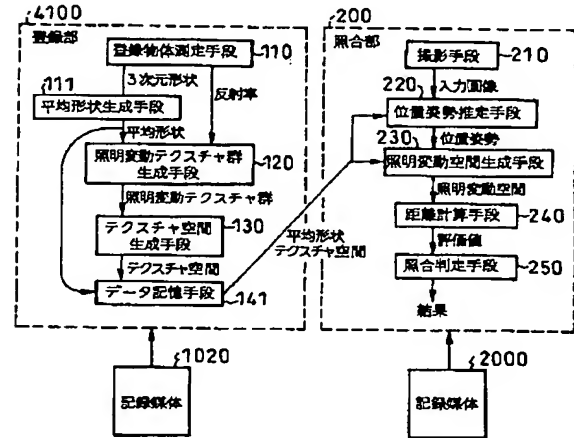
【図17】



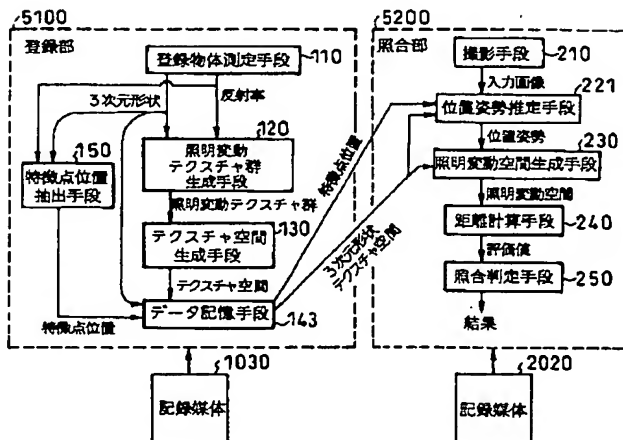
【図18】



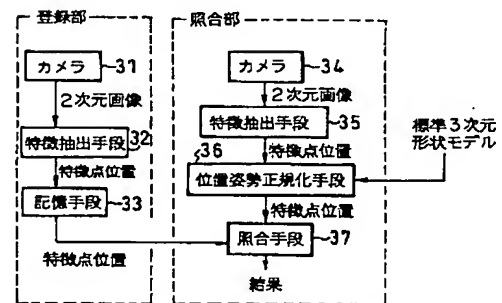
【図19】



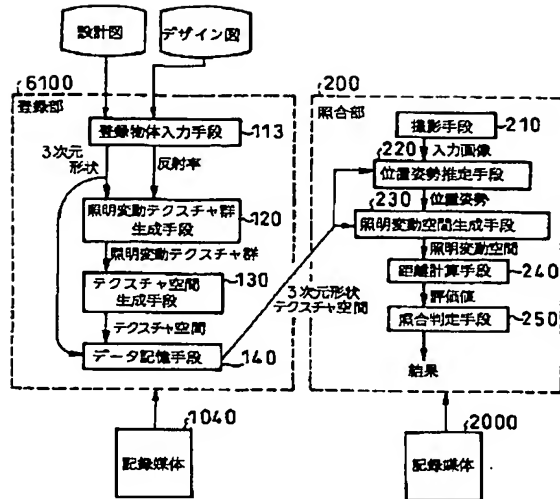
【図20】



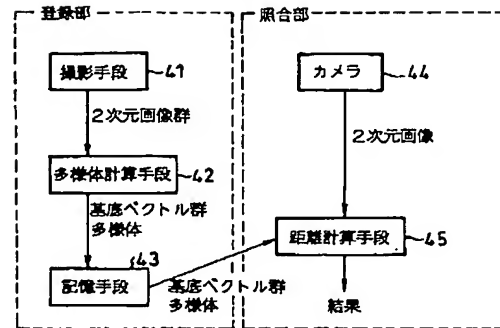
【図24】



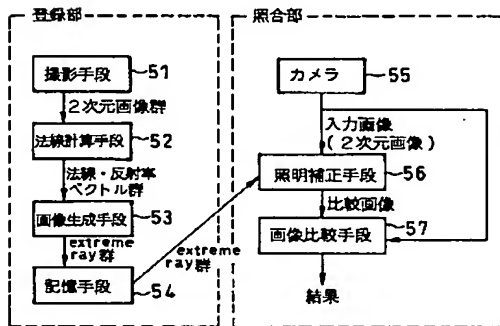
【図21】



【図25】



【図26】



【図27】

